

---

# LAHOVIKAISEN KUUSEN ENERGIASISÄLLÖN MÄÄRITYS



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma

Evo, syksy 2015

*Heikki Aaltonen*

Heikki Aaltonen



EVO

Metsätalouden koulutusohjelma

**Tekijä**

Heikki Aaltonen

**Vuosi** 2015**Työn nimi**

Lahovikaisen kuusen energiasisällön määrittäminen

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen toimeksiantaja oli Metsänhoitoyhdistys Pirkanmaa ja yhteistyössä oli mukana Tampereen Naistenlahden voimalaitos. Työn tavoitteena oli määrittää lahon takia sellu- tai sahateollisuuteen kelpaamattomalle kuuselle keskimääräinen energiasisältö. Energiasisällön määrittäminen oli tarpeen, koska lahovikaiset kuuset käytetään energiapuuna ja sen tarkkaa energiasisältöä ei tiedetä.

Energiasisältö määritettiin Pirkanmaan alueen hakkuutyömailta kertyneistä lahovikaisista kuusista. Lahovikaiset kuuset, jotka katkotaan hakkuun yhteydessä yleensä 3 metrin mittaisiksi pätiksi, on keskeinen tuote, jota tulee varttuneiden ja päätehakkuikäisten metsien hakkuilta merkittäviä määriä. Puut haketetaan rankahakkeeksi energiatuotantoon. Tutkimuksessa käytettiin energiasisällön määrittämiseen tarkoitettuja menetelmiä ja standardeja, joita ovat hakkeen kosteuden (%), lämpöarvon (MJ/kg), tilavuuden ja painon mittaaminen. Mittauksista saaduista tuloksista voitiin laskea energiasisältö.

Tutkimuksessa käytettiin kahta puuerää. Ensimmäinen erä koostui Metsänhoitoyhdistys Pirkanmaan korjuupalvelun hakkuutyömailta ja toinen Luvian Saha Oy:n korjuutyömailta. Otannassa oli mukana eriasteisia lahoja. Puut kuljetettiin energiapuutermiinaaleihin, joissa ne haketettiin. Hake toimitettiin Tampereen Naistenlahden voimalaitokseen ja näytteenotto sekä mittaukset tehtiin laadunvalvonnan yhteydessä. Kosteus mitattiin voimalaitoksella. Lämpöarvon mittaus tapahtui Jyväskylässä laboratorio Labtuim Oy:n kalorimetrillä. Tilavuus- ja painomittaukset tehtiin hakkuun ja kuljetuksen yhteydessä.

Lahovikaisesta kuusesta tehdyn hakkeen energiasisällöksi mitattiin keskimäärin 3,05 Mwh/t ja energiatiheudeksi 0,72 MWh/i-m<sup>3</sup>. Hakkeen tiheyteen verrattuna sen energiasisältö on tämän tutkimuksen perusteella 7,8 prosenttia alempi kuin ulkopuolisilta ominaisuuksiltaan vastaavan rankahakkeen. Tutkimuksessa todettiin, että olisi tarpeellista tehdä uusi tutkimus, jossa huomioitaisiin eri alueita Suomessa, ottaa suurempi otanta lämpöarvosta sekä tarkempi otanta hakkeen painosta ja tilavuudesta.

**Avainsanat** Lahovikainen kuusi, Energiapuu, Energiasisältö**Sivut** 38 s. + liitteet 8 s.

Evo  
Degree Programme in Forestry

---

<b>Author</b>	Heikki Aaltonen	<b>Year</b> 2015
<b>Subject of Bachelor's thesis</b>	Determination of the Energy Content of Spruces Suffering from Root Rot	

---

## ABSTRACT

This thesis was commissioned by Forest Management Association Pirkanmaa in co-operation with the Naistenlahti power plant in Tampere. The aim was to determine the average energy content of spruces with rot, which are unsuitable for pulp and saw industries. The determination of the energy content was necessary because its exact value is not known and the energy wood market price is determined on the basis of this information. The energy content was determined of rot root logs from harvesting sites in Metsänhoitoyhdistys Pirkanmaa region. The rot root logs, which are cut to 3 meter length, are an essential product, which is harvested in quite significant quantities from aged forest logging sites. It is used for energy production as wood chips. In this study the methodology and standards meant to determine the energy content were applied, such as wood chips moisture content (%), calorific value (MJ / kg) measurement, wood volume and weight. The energy content was calculated from these measuring results. The study consisted of two lots of wood; the first one from Forest management Association Pirkanmaa logging sites and the second one from Luvia Saha Oy logging sites. The studied wood material was collected from a large area and the sampling included different stages of rot wood. The wood material was shipped to energy wood terminal in Naistenlahti power plant in Tampere. The samples were taken and the measurements made within the normal quality control. Seven chip samples were taken from every truck load. From these samples the moisture content was measured by using the wood's wet and dry weight values. The calorific value was also measured from the same samples. The measuring took place in Jyväskylä at Labtium Oy laboratories. The volume and weight were measured already as the wood was harvested and transported. The average energy content of rot spruce wood chips was 3,05 Mwh/t and energy density 0,72 MWh/i-m3. According to this study, compared to its density the energy content of this wood chip material with rot is 7,8 % lower than wood chips with other similar properties. The study showed that it would be necessary to arrange another study, which would consider different areas in Finland, to take a larger sampling of the caloric value and a more accurate sampling of the weight and volume of the wood chip material.

**Keywords** Root rot, Energy wood, Energy content  
**Pages** 38 p. + appendices 8 p.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	AINEISTO.....	2
2.1	Puunhankinta.....	3
2.2	Mittausaineisto .....	3
2.3	Muu aineisto.....	3
3	LAHOPUU .....	5
3.1	Kuusen tyvilaho.....	5
3.2	Juurikäävät .....	6
4	PINOKUIVAUS JA HAKETUS.....	7
4.1	Pinokuivaus .....	7
4.2	Haketus.....	7
4.3	Haketusajankohta .....	8
5	HAKKEEN TOIMITUS JA NÄYTTEENOTTO .....	9
5.1	Logistiikka.....	9
5.2	Näytteenotto .....	10
6	MITTAUSMENETELMÄT.....	15
6.1	Menetelmät ja standardit .....	15
6.2	Puunmittaus.....	15
6.3	Hakkeen paino ja tilavuus .....	15
6.4	Kosteus.....	16
6.5	Lämpöarvo .....	17
7	MITTAUSTULOKSET.....	21
7.1	Puun tilavuus .....	21
7.2	Hakkeen paino ja tilavuus .....	21
7.3	Hakkeen märkä- ja kuivapaino $m_i$ .....	22
7.4	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa $Q_{net,d}$ .....	22
8	LASKENTA .....	24
8.1	Irtotiheys saapumistilassa $BD_{ar}$ .....	24
8.2	Kosteus saapumistilassa $M_{ar}$ .....	25
8.3	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa $Q_{net,ar}$ .....	26
8.4	Energiatiheys saapumistilassa $E_{ar}$ .....	27
8.5	Toimitettu energiamäärä $W$ .....	29
9	TILASTOLLISET TUNNUSLUVUT JA TESTAAMINEN.....	30
9.1	Tunnusluvut.....	30
9.1.1	Keskiarvo.....	30
9.1.2	Keskihajonta .....	30
9.1.3	Varianssi .....	31

9.2	Testaus.....	31
9.2.1	Lämpöarvo.....	31
9.2.2	Irtotiheys.....	33
10	TULOKSET .....	35
11	POHDINTA.....	37
	LÄHTEET .....	38
Liite 1	HAKKEEN PAINO JA TILAVUUS	
Liite 2	HAKKEEN MÄRKÄ- JA KUIVAPAINO	
Liite 3	HAKKEEN IRTOTIHEYYS	
Liite 4	HAKKEEN KOSTEUS	
Liite 5	LÄMPÖARVO SAAPUMISTILASSA	
Liite 6	ENERGIATIHEYYS SAAPUMISTILASSA	
Liite 7	TOIMITETTU ENERGIAMÄÄRÄ	
Liite 8	TILASTOLLISTEN TESTIEN AINEISTO	

## 1 JOHDANTO

Energiapuun käyttö on yleistynyt Suomessa ja on tällä hetkellä merkittävä osa koko maan energiatuotantoa. Viime vuosina Suomen energiatuotannosta noin 25 prosenttia on tuotettu puuperäisillä polttoaineilla ja se on tällä hetkellä tärkein energiaraaka-aine. Puuenergiaraaka-aineen osuus energiatuotannossa on viimeisten kolmen vuoden aikana ollut isompi kuin hiilellä, maakaasulla ja öljyllä. Suomessa puuta käytetään pääasiassa lämmön ja sähkön tuotantoon, mutta siitä valmistetaan myös fossiilisia polttoaineita korvaavia nestemäisiä polttoaineita. (Maa- ja metsätalousministeriö 2015.)

EU:n ja Suomen politiikka ohjaavat entistä enemmän uusiutuvien energiamuotojen käyttöön. Suomi on asettanut tavoitteeksi uusiutuvien energiamuotojen käytölle 38 prosentin osuutta kokonaisenergiakulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Suomen omassa kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa tavoitteet on asetettu korkeammalle kuin EU:n asettamat tavoitteet. (Työ- ja elinkeinoministeriö, Energiaosasto 2013, 11–12.)

Metsänhoitoyhdistys Pirkanmaan toimittaman energiapuun määrä on noussut viime vuosina. Lämmityskaudella 2013–2014 toimitettiin 90 000 kiintokuutiometriä, kun seuraavalla lämmityskaudella 2014–2015 toimitettiin 120 000 kiintokuutiometriä. Kuluvalle lämmityskaudelle 2015–2016 tullaan toimittamaan noin 170 000 kiintokuutiometriä energiapuuta. Yksi energiapuulajeista on hakkuulta tulevat lahovikaiset kuusen tyvet ja rangaat, jotka on katkottu 3 metrin mittaisiksi. Pirkanmaan alueen kuusimetsissä on paikoittain suuri lahoprocentti, jonka seurauksena varsinkin päätehakkuilta kertyy verrattain suuria määriä lahovikaista kuusta. Metsänhoitoyhdistys Pirkanmaan tuottamasta energiapuusta n. 5,5 prosenttia on haakattu lahovikaisista kuusista. (Kauppila 10.11.2015, haastattelu.)

Energiapuun hinta markkinoilla määräytyy sen energiasisällön mukaan. On hyvin tärkeää tietää erilaisten energiapuulajien energiasisällöt, jotta puun todellinen hinta voidaan laskea. Tämän perusteella voidaan laskea korjuun kannattavuus ja valita oikeat korjuu- sekä jalostusmenetelmät. Energiapuun tuotantoketjussa on monta eri tekijää ja erilaisten energiapuulajien käsittelyissä sekä niiden kustannuksissa on verrattain suuria eroja. Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää lahovikaisen kuusen energiasisältö, jotta se voidaan hinnoitella energiapuumarkkinoilla oikein.

## 2 AINEISTO

Tutkimukseen hankittu puu on peräisin Pirkanmaan alueelta. Hankitut puut jaettiin kahteen tutkimuserään, niiden hankintatavan ja -ajankohdan perusteella. Ensimmäinen tutkimuserä, myöhemmin tutkimuserä 1 (Kuva 1), oli peräisin neljän eri paikkakunnan alueen hakkuilta, joita olivat Luhalampi (Ikaalinen), Haukijärvi (Hämeenkyrö), Ania (Pirkkala) ja Hahkala (Lempäälä). Toinen tutkimuserä, myöhemmin tutkimuserä 2 (Kuva 2, s.3), oli peräisin Pirkanmaan Metsänhoitoyhdistyksen toimialueen pohjoiselta alueelta, johon kuuluu Ylöjärvi, Hämeenkyrö ja Ikaalinen. Tutkimuserää 2 ei pystytty kohdentamaan tarkemmin pienempiin alueisiin. Tutkimuserän 1 kiintotilavuus oli 311,2 kuutiometriä ja tutkimuserän 2 kiintotilavuus oli 619,69 kuutiometriä.



Kuva 1. Tutkimuserä 1.



Kuva 2. Tutkimuserä 2.

### 2.1 Puunhankinta

Tutkimuksessa käytetty puu hankittiin Metsänhoitoyhdistys Pirkanmaan oman korjuupalvelun sekä Luvian saha Oy:n hakkuilta. Tutkimuserä 1 keräiltiin Metsänhoitoyhdistys Pirkanmaan korjuupalvelun hakkuilta, missä puut olivat tienvarsivarastoilla. Nämä puut toimitettiin Ylöjärvellä sijaitsevaan Destian energiapuuterminaaliin. Puut hankittiin pystykaupalla yksityisiltä maanomistajilta ja ne sisältyivät puukaupan energiapuumääriin. Tutkimuserän 2 puut oli toimitettu Luvian sahalle lajiteltaviksi, ja ne olivat peräisin Luvian saha Oy:n hakkuilta. Lahovikaiset kuuset eroteltiin tukeista ja muusta puutavarasta lajittelupisteessä ja toimitettiin Metsänhoitoyhdistys Pirkanmaan energiapuuterminaaliin. Tämä terminaali sijaitsee Tampereen Ryydynpohjassa.

### 2.2 Mittausaineisto

Energiasisällön selvittämiseksi piti tietää tutkittavan puun tilavuus, paino, lämpöarvo sekä kosteusprosentti. Lämpöarvon ja kosteusprosentin mitausaineisto selvitettiin laboratoriomittauksilla. Puun tilavuus selvitettiin mittaamalla sekä virallisista asiakirjoista, joita olivat mittaustodistukset hakkuilta. Haketilavuus määritettiin hakkeen kuljetuksen yhteydessä ja samalla mitattiin myös hakkeen paino.

### 2.3 Muu aineisto

Aineistoa hankittiin kirjoista, haastatteluilla, erilaisista julkaisuista sekä standardeista ja ohjeista. Mittausaineiston laskennassa käytetyt laskenta-kaavat ja standardoidut ohjeet ovat peräisin Biopolttoaineiden laatuohjees-



ta. Tilastollisiin testeihin käytetty vertailuaineisto saatiin voimalaitoksen kuukausittaisista laadunvalvontaraporteista.

### 3 LAHOPUU

Lahopuu on väriltään terveestä puusta eroavaa puuainesta. Lahon aiheuttajana ovat lahottajasienet, joiden aineenvaihdunnan vaikutuksesta puun solukko on väriltään eroavissa kohdissa osittain hajonnut. Värierot voivat esiintyä tervettä puuta tummempina tai vaaleampina osina. Lahottajasieni on yleisnimitys erilaisista sienistä, jotka hajottavat puun solukkoa. Laho luokitellaan kahteen luokkaan, jotka määrittävät lahoamisen etenemisen perusteella kovaksi lahoksi ja pehmeäksi lahoksi. Kovassa lahossa puuainesta on vielä kovaa eikä eroa merkittävästi terveestä puuaineksesta, mutta sen lujuusominaisuudet ovat heikentyneet. Pehmeässä lahossa puuainesta ja sen solukon hajoaminen on edennyt pitkälle, jolloin sen rakenne on pehmeää. (Mäkelä, Korhonen & Lipponen 1999, 2.) Kuvasta 3 näkee eriasteisia lahoja kuusessa.



Kuva 3. Lahovikaisia kuusia.

#### 3.1 Kuusen tyvilaho

Tyvilaho eli maannousema on kuusen suurin lahonaiheuttaja. Etelä-Suomen kuusista 15–20 prosenttia on altistunut tyvilaholle. Taloudellista tappiota Suomessa tyvilaho aiheuttaa vuosittain noin 50 miljoonaa euroa. Noin 80 prosentissa kuusen tyvilahoista aiheuttajana on kuusenjuurikäppä. (Kasanen 2009, 96.)

### 3.2 Juurikäävät

Juurikäävät (*Heterobasidion annosum*, sensu lato) ovat lahottajasieniä, jotka leviävät metsikössä juurien välityksellä puusta toiseen ja uusille alueille ilmateitse itiöinä. Havumetsävyöhykkeellä juurikääpien käävät kasvavat usein kannon ja juuriston onkaloissa. Juurikääpien aiheuttama laho on tyvilahoa ja vaurioittaa puun arvokkainta tyvitukkiosaa. Suurimmat tyvilahon aiheuttajat kuusikoissa ovat männynjuurikääpä (*Heterobasidion annosum*, sensu stricto) sekä kuusenjuurikääpä (*Heterobasidion paviporum*). Männynjuurikääpää esiintyy kuusissa vähemmän kuin kuusenjuurikääpää. (Kasanen 2009, 90–96.)

Juurikäävän noustessa runkoon se muodostaa rungon tyveen tumman värisen renkaan tai kaaren, joka sijaitsee sydänpuun ja mantopuun rajakohdassa. Se leviää sydänpuuhun ja värjää rungon keskeltä. Tässä vaiheessa se on vielä kovalahoa. Lopulta sydänpuu muuttuu pehmeäksi lahoksi sienten vaikuttaessa pidemmän aikaa, jolloin laho voi edetä myös elävään mantopuuhun. (Mäkelä ym., 1999, 29.)

## 4 PINOKUIVAUS JA HAKETUS

Energiapuun tuotannossa yksi tärkeimmistä vaiheista on puun pinokuivaus sekä oikea-aikainen haketus. Puunkorjuun ajankohta määrää puun pinokuivauksen keston ja haketuksen ajankohdan. Pinokuivauksella sopivaan kosteuteen kuivunut energiapuu haketetaan ja toimitetaan voimalaitokselle.

### 4.1 Pinokuivaus

Tutkimuspuut kuivattiin pinokuivausmenetelmällä, joka on normaali käytäntö energiapuun kuivauksessa. Kuivatetut pinot olivat kooltaan keskimäärin 30 m<sup>3</sup>:ä. Vain osa pinoista oli peitelty. Isojen energiapuumäärien kohdalla voidaan miettiä palstakuivatusta, mutta tässä tutkimuksessa se ei ollut tarpeen, koska tutkimuspuut eroteltiin isoista kasoista ja pinot jäivät suhteellisen pienikokoisiksi. Pinokuivauksen kesto määräytyy puun hakkuuajankohdan mukaan. Tutkimuksessa käytetty puu oli hakattu talvella ja keväällä. Sen annettiin kuivua kesään asti pinoissa. Tutkimuserä 1 kuljetettiin kesäkuun alussa ja tutkimuserä 2 loppukesällä energiapuuterminaleihin, missä ne kuivuivat isoissa pinoissa vielä haketukseen asti.

### 4.2 Haketus

Haketuksessa käytettiin rumpuhakkuria, joka on kiinnitetty autoon. Autossa on kiinni oma kuormaaja, jolla haketettavia puita syötetään hakkuriin. Tämä on Pirkanmaan alueella käytetyin haketustapa. Hakepalan koko on noin 5–50 millimetriä, mutta seassa on välillä myös isompia paloja (kuva 4, s. 8). Hake soveltuu kokonsa puolesta hyvin hakkeen määränpäänä olemiseen lämpölaitokseen.

Puut haketettiin pitkään aumaan, joka oli noin neljä metriä korkea. Aumaan haketus on yleisin tapa varastoida hake, jolla pyritään saamaan saman kosteusprosentin omaavaa haketta yhteen kerrokseen. Näin pyritään estämään erilaisten kerrosten aiheuttama hakkeen käymisprosessi ja siitä syntyvä lämpeneminen.



Kuva 4. Hakepalojen koossa voi olla suuria eroja.

### 4.3 Haketusajankohta

Haketuksen ajankohta määräytyy puun kuivumisajan pituuden perusteella. Tutkimuksessa käytetty puu haketettiin saman kuivumisajan perusteella kuin muutkin alueen energiapuut. Haketuksen ajankohtaan vaikutti myös voimalaitoksen polttoaineen vastaanottokyky. Voimalaitoksessa suoritettiin kesällä huolto, jonka aikana oli käyttökatko.

Tutkimuserä 1 toimitettiin ennen huoltokatkoa 20.6.2014, koska huoltokatko saattaa venyä joskus hyvinkin pitkäksi ja olisi viivästyttänyt tutkimukseen tarkoitetun hakkeen toimitusta. Tutkimuserä 2 toimitettiin 23.–25.1.2015. Koska biopolttoaineen toimittajia on useita, ei voimalaitokseen voida toimittaa haketta kuin ennalta sovittuna aikana. Haketus tapahtui molempien tutkimuserien kohdalla noin kaksi päivää ennen toimitusta. Tämä ei ole terminaalihaketukselle tavanomaista, vaan usein haketus tapahtuu paljon ennen toimitusajankohtaa ja hake varastoidaan isoihin aumoihin. Tienvarsihaketuksessa hake toimitetaan yleensä suoraan voimalaitokselle. Tutkimuksen kannalta tärkeää oli saada hake pysymään erillään muusta energiapuusta, minkä takia haketus tapahtui toimituksen yhteydessä tai mahdollisimman lähellä toimitusajankohtaa.

## 5 HAKKEEN TOIMITUS JA NÄYTTEENOTTO

Tutkimuksessa hakkeen toimitus ja näytteenotto tehtiin normaalien hake-toimitusten ja näytteenottojen yhteydessä. Haketoimituksen logistiikka ja näytteenotto oli suunniteltava huolellisesti, jotta välttyttiin virheiltä. Haketta toimitetaan yhtä aikaa monesta eri paikasta ja monelta eri toimittajalta. Oli tärkeää, että tutkimukseen tarkoitettu hake pystyttiin erottelamaan muista hake-eristä. Tämä onnistui sopimalla Naistenlahden voimalaitoksen kanssa tutkimukseen tarkoitettulle hakkeelle oma toimituseränumero ja -nimi. Hakkeelle piti sopia myös tarkka toimitusajankohta, joka on normaalia myös muiden toimitusten kohdalla.

### 5.1 Logistiikka

Kuljetus- ja haketusurakoitsijoiden kanssa sovittiin tutkimuksessa käytetyn hakkeen käsittelystä ja toimituksesta tarkkaan, jotta mukaan ei sekoituisi muuta energiapuuta ja tämän estämiseksi haketusta myös valvottiin energiapuu terminaalissa. Jokainen toimitettu hake-erä kuitattiin toimitetuksi urakoitsijan toimesta ennalta sovitulla toimituseränumerolla ja -nimellä. Kaikki toimitetut erät näkyivät reaaliajassa Oncenet-palvelussa. Palvelusta pystyy myöhemmin tarkastelemaan myös toimitettujen erien näytteenoton tuloksia.

Hakkeen toimitus tapahtui standardimittaisilla yhdistelmäajoneuvoilla, joissa on nupissa kiinni oleva kuormatila sekä perävaunu (Kuva 5, s. 10). Näiden ajoneuvojen suurin sallittu massa on 64 tonnia (Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä 1257/1992 4:20 §). Ajoneuvoyhdistelmän kuormakapasiteetti on 130–150 hakekuutiometriä, joka vastaa noin 52–60 kiintokuutiometriä. Tutkimuksessa käytetty hakemäärä ei mennyt kokonaan täysinä kuormina, vaan viimeinen kuorma oli tarkoitus toimittaa vajaana. Näin ei kuitenkaan tapahtunut, vaan toisen hake-erän viimeiseen kuormaan meni mukaan tutkimushakkeen lisäksi muuta haketta. Sekaan päässyt hake oli kuitenkin tutkimushakkeen kanssa samanlaista lahovikaisen kuusen haketta, joten mittaustuloksiin se ei vaikuttanut. Tutkittavan hakkeen määrä tästä kuormasta kuitenkin tiedettiin ja se voitiin erotella tästä kuormasta vaakatuloksen perusteella.





Kuva 5. Hakkeen toimitukseen käytetty kuljetuskalusto, sekä voimalaitoksen vastaanottopiste.

## 5.2 Näytteenotto

Näytteenotto tapahtui hakkeen toimituksen yhteydessä ja se kuuluu normaaliin laadunvalvontaan voimalaitoksessa. Näytteenotto tehtiin puupolttoaineiden laatuohjeen mukaisesti (Alakangas & Impola 2013, 28–38). Näytteenotto oli automatisoitu ja se toimi kuorman purun yhteydessä. Hake-erä laskettiin vastaanottopisteen purkusiiloon (Kuva 6, s. 12), josta se kulkeutui kuljetinta pitkin varastosiiloon. Automatisoitu järjestelmä otti pienen määrän haketta kuljettimesta ja ohjasi sen näytteenottolaitteistoon. Näytteenottolaitteiston hakemurskain (Kuva 7, s. 12) hienonsi hakkeen seassa olevat ylisuuret palat, jotta ne sopivat näytteenottoastiaan. Hake siirtyi murskaimesta näytteenottoimeen (Kuva 8, s. 13), joka siirsi sopivan määrän haketta näyteastiaan. Laitteisto toimii siten, että edellisen näytteen haketta ei pääse seuraavaan näytteeseen. Näyteastiat (Kuva 9, s. 13) olivat muovisia ämpäreitä, joihin näytteenottolaitteisto syötti hakkeen. Tietokoneohjelmoitu laitteisto (Kuva 10, s. 14) vaihtoi eri toimituserien näytteille niille tarkoitetut ämpärit.

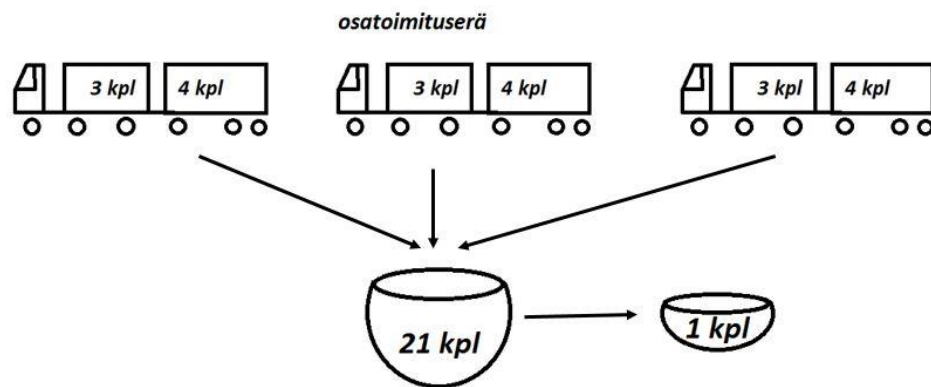
Yhdestä ajoneuvoyhdistelmän toimittamasta kuormasta otettiin seitsemän hakenäytettä, kolme nupista ja neljä perävaunusta. Yhteen näyteastiaan pyrittiin ottamaan kolmen ajoneuvoyhdistelmän näytteet, jotka muodostivat osatoimituserän. Tästä 21 näytteen erästä mitattiin kosteusprosentti. Tutkittavan hakkeen toimituksessa tuli kuitenkin niin suuria aikavälejä, että näytteenottoastiat oli vaihdettava välillä. Tästä johtuen osatoimituserien suuruus vaihteli 1–3 kuorman välillä.

Kesäkuussa 2014 toimitettiin kolme osatoimituserää. Osatoimituserässä 1 oli yksi kuorma, osatoimituserässä 2 oli kolme kuormaa ja osatoimitus-

erässä 3 oli kaksi kuormaa. Tammikuussa toimitettiin seitsemän osatoimituserää, joiden kuormamäärät jakautuivat siten että, osatoimituserissä 1, 4 ja 5 oli kussakin kolme kuormaa, osatoimituserissä 2 ja 6 oli kaksi kuormaa ja osatoimituserissä 3 ja 7 oli yksi kuorma.

Normaalisti jokaisesta hakelaadusta säilötään kaikki osatoimituserät kuu-kauden ajalta yhteen astiaan, josta otetaan näyte lämpöarvon määrittämiseen. Tutkimuksessa lämpöarvon määrittämiseen otettiin yhteensä kaksi näytettä, yksi näyte molemmista tutkimushake-erien osatoimituseristä. Lämpöarvonmäärittämiseen otetut näytteet lähetettiin Jyväskylässä sijaitsevaan Labtium Oy:n laboratorioon.

Koko tutkimukseen kerätystä puusta tuli 10 osatoimituserää. Kosteusprosentti mitattiin jokaisesta osatoimituserästä kaksi kertaa, eli yhteensä kosteusprosentista saatiin 20 tulosta. Jokaisen osatoimituserän kosteusprosenttituloksista laskettiin keskiarvo kullekin osatoimituserälle. Lämpöarvosta mitattiin 2 tulosta, eli yksi mittaus kumpaakin tutkimuserää kohden. Näytteenottoa ja osatoimituserän muodostumista on havainnollistettu kuviossa 1.

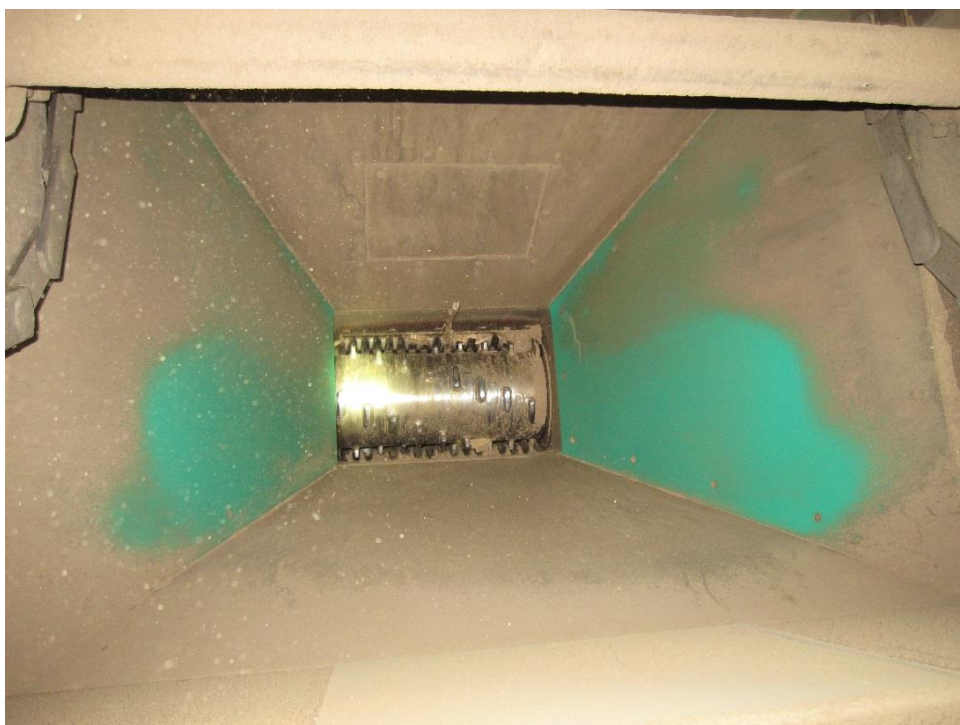


Kuvio 1. Osatoimituserän muodostuminen.





Kuva 6. Kuormanpurkusiilo.



Kuva 7. Näytteenottolaitteiston hakemurskain.



Kuva 8. Näytteenotin.



Kuva 9. Näyteastia.



Kuva 10. Näyteastiat pyörivät automatisoidussa karusellissa.



## 6 MITTAUSMENETELMÄT

Tutkimuksessa käytetyt mittausarvot saatiin hakkuun, kuljetuksen, näytteenoton sekä kosteuden ja lämpöarvon määrittämisen yhteydessä. Kaikki mittaustoimenpiteet kuuluvat normaaliin energiapuun tuotantoon ja toimitukseen. Mittaustoimenpiteillä valvotaan energiapuun laatua ja toimitettua määrää.

### 6.1 Menetelmät ja standardit

Tutkimuksessa puunmittausmenetelmänä käytettiin motomittaa, eli hakkuukoneen mittalaitetta. Arvot saatiin hakkuiden mittaustodistuksista. Tämä on eri toimijoiden kesken yleisesti sovittu ja hyväksytty mittaustapa. Tutkimuserä 2 mitattiin vielä pinomittausmenetelmällä. Pinomittaus tehtiin Metsäteho Oy:n pinomittausohjeen mukaisesti (Metsäteho Oy 2003, 3–14).

Hakkeen paino ja tilavuus määritettiin hakkeen kuljetuksen yhteydessä kuljetusurakoitsijan toimesta. Käytetty painon ja tilavuuden mittaussuunnitelma oli hakkeen toimittajan ja vastaanottajan sopima. Puupolttoaineiden laatuohjeen mukaisesti hakkeen painon ja tilavuuden määrittäminen tehdään eri osapuolten sopimalla tavalla (Alakangas & Impola 2013, 24).

Hakkeen kosteuden ja lämpöarvon määrittämisessä käytettiin standardoituja mittaussuunnitelmia. Kosteusprosentin mittaamiseen käytettiin menetelmästandardia SFS-EN 14774-1 ja lämpöarvon mittaamiseen menetelmästandardia SFS-EN-14918 (Alakangas & Impola 2013, 22, 23).

### 6.2 Puunmittaus

Hakkuukoneiden mittalaitteille suoritetaan säännöllisin väliajoin kalibrointi ja hakkuilla tehdään motokontrollit. Mittalaitteen suurin sallittu poikkeama on  $\pm 4$  prosenttia, joka on metsäalalla hyväksyttävä kaikkien mittaussuunnitelmien tarkkuus (Lindblad 2008, 390). Mittalaitteen laskemat tulokset tulostettiin mittaustodistuksiksi ja niistä voitiin erotella tutkimuksessa käytetyt lahovikaiset kuuset. Hakkuukoneen mittalaitteen ja pinomittauksen tulokset erosivat toisistaan ja todennäköinen syy tulosten eroavaisuuteen oli pinon suuri koko. Suurta pinoa mitattaessa pienetkin arviointivirheet pinonkorkeudessa vaikuttavat suuresti lopputulokseen.

### 6.3 Hakkeen paino ja tilavuus

Tutkimuksessa oli tiedettävä tutkittavan hakkeen paino ja tilavuus, jotta voitiin laskea toimitettu energiasisältö ja energiatiheys. Kaikki toimitetut kuormat punnittiin ennen hakkeen laskemista vastaanottopisteen siiloon. Hakkeen painon mittauksessa käytettiin voimalaitoksen polttoaineen vastaanottopisteen kuormavaakalaitteistoa.

Hakkeen kuormauksen yhteydessä selvitettiin tutkittavan hakkeen haketilavuus. Hakkeen tilavuus määritettiin kuormauksen yhteydessä kuljetuskaluston kuormatilan tilavuuden mukaan.

Painon ja tilavuuden arvoista voitiin laskea irtotiheys. Irtotiheyden arvolla voitiin selvittää hakkeen energiatiheys laskentakaavalla. Energiatiheydellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon energiaa on toimitetussa määrässä haketta sen tilavuutta kohden. Yleensä energiatiheyden tilavuus ilmoitetaan irtokuutiometreinä eli tässä hakekuutiometreinä. (Hakkila 2003, 29).

#### 6.4 Kosteus

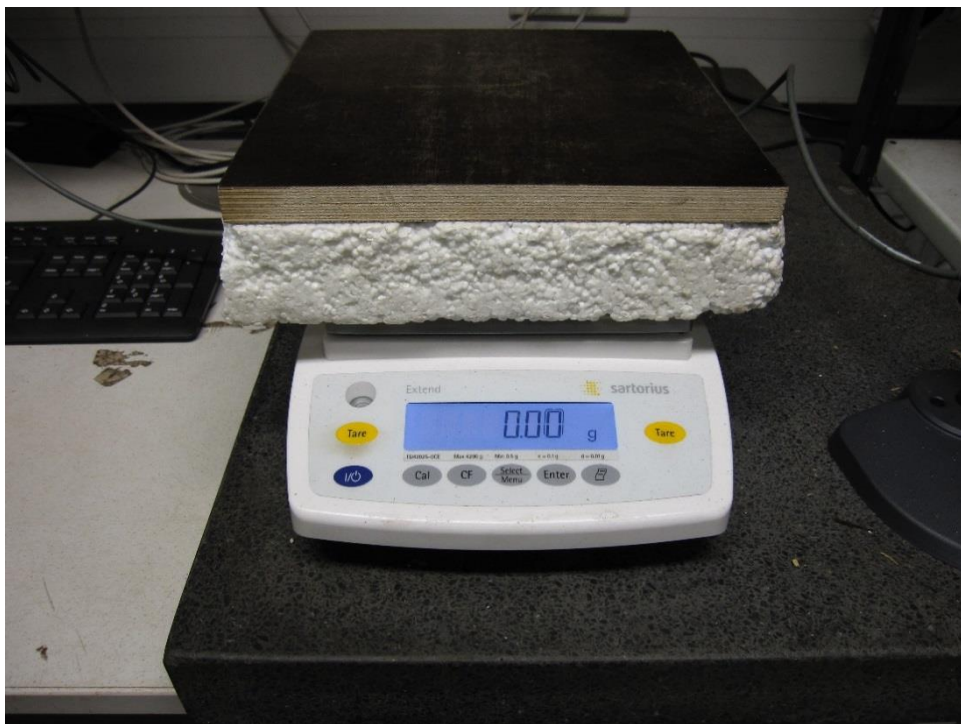
Kosteus tarkoittaa veden prosenttiosuutta mitatun aineen kokonaismassasta. Kosteus on keskeinen puupolttoaineen ominaisuus, joka vaikuttaa energiasisältöön. Energiapuun tavoiteltu kosteusprosentti on 25–30 prosenttia tai alhaisempi (Bioenergianeuvoja.fi 2015), mutta toimitettavan polttoaineen kosteudeksi voidaan sopia alle 30 prosenttia vain, jos laitos on suunniteltu turvallisesti vastaanottamaan niin kuivaa polttoainetta (Alakangas & Impola 2013, 18). Isoissa laitoksissa puupolttoaine voi olla kostea ja se pystytään käyttämään tehokkaasti toisin kuin esimerkiksi kotitalouksissa (Alakangas 2003, 31).

Hakkeen kosteus mitattiin vertaamalla sen märkä- ja kuivapainoa. Voimalaitoksen näytteenottohuoneen yhteydessä on kosteuden mittaamiseen tarkoitettu tila, josta löytyy siihen soveltuvat laitteet. Hake siirrettiin näytteenottoastiasesta uuniastiasiin, joka merkittiin toimituseränumerolla. Hake punnittiin toimituskosteudessaan, josta saatiin sen märkäpaino. Hake siirrettiin ilmastoituun lämpökaappiin, jossa oli 105 °C:n lämpötila. Kuivatuksessa käytetty lämpökaappi oli Memmert UFE 700 (Kuva 11, s. 17). Yleensä kuivatukseen riittää 16 tuntia, jos hakekerroksen paksuus ei ylitä kolmea senttimetriä. 16 tuntia on kuitenkin minimiaika ja kuivatusaika ei saa ylittää 24:tä tuntia (Alakangas & Impola 2013, 49, 50).

Kuivattu hake punnittiin välittömästi uunista poistettaessa. Punnituksessa käytetty vaaka oli Sartorius ED4202S-OCE (Kuva 12, s. 17). Vaa'an ja näyteastian väliin asetettiin eriste, jonka materiaali oli styroksia. Tämä tehtiin punnitustulokseen vaikuttavien lämpötilamuutosten estämiseksi. Punnitusten jälkeen näiden tulosten erotusta voitiin käyttää kosteusprosentin määrittämiseen tarkoitettussa laskentakaavassa. Uunikuivatusmenetelmällä mitatun kosteusprosentin mittatarkkuus on 0,1 prosenttia (Alakangas & Impola 2013, 50). Laskennassa saadut tulokset syötettiin Oncenet-palveluun, josta ne olivat reaaliajassa seurattavissa.



Kuva 11. Kosteusprosentin määrittämiseen käytetty lämpökaappi.



Kuva 12. Kosteusprosentin määrittämiseen käytetty vaaka

### 6.5 Lämpöarvo

Lämpöarvolla tarkoitetaan sitä, kuinka paljon poltettavasta materiaalista vapautuu lämpöenergiaa, kun palaminen on täydellistä ja siihen ei vaikuta poltettavan materiaalin kosteus (Hakkila 2003, 26). Mittauksessa materiaalia poltetaan eristetyssä tilassa eli kalorimetripommissa puhtaassa hapessa, ja siitä vapautuva lämpöenergia mitataan (Alakangas 2000, 28).

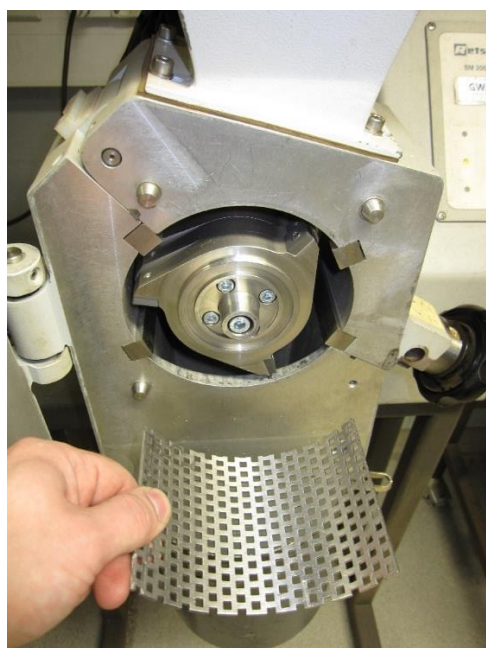
Lämpöarvo ilmoitetaan Megajouleina (MJ) materiaalin massaa tai tilavuutta kohden. Kun kyseessä on neste tai kiinteä aine, sitä verrataan massaan (kg), kun taas kaasua verrataan tilavuuteen ( $\text{m}^3$ ) (Niinikoski 2007, 6).

Tässä tutkimuksessa energiamäärää verrattiin massaan eli MJ/kg. Hakkeesta mitattiin ilmakehän analyysinäytteen kalorimetrinen lämpöarvo ( $Q_d$ ). Kalorimetrin lämpöarvon mittaustuloksissa palamisprosessissa vedystä muodostunut ja aineessa valmiina ollut vesi oletettiin olomuodoltaan nesteeksi, jolloin sen höyrystymiseen käytettyä energiaa ei huomioitu hukka-energiana. Tehollisen kuiva-aineen lämpöarvon ( $Q_{\text{net,d}}$ ) mittaustuloksissa syntynyt ja aineessa valmiiksi ollut vesi oletettiin olomuodoltaan höyryksi. Höyrystymiseen kulunut energia huomioitiin ja tästä syystä sen arvo oli alhaisempi kuin kalorimetrin lämpöarvon. Kalorimetrinen lämpöarvo ja tehollinen kuiva-aineen lämpöarvo määritettiin Jyväskylässä sijaitsevassa Labtium Oy:n laboratoriossa.

Naistenlahden voimalaitos on tilannut lämpöarvon määrittämisen Labtium Oy:stä ja se on osa normaalia laadunvalvontaa. Lämpöarvoa käytetään energiasisällön kuukausittaiseen seurantaan. Normaalista lämpöarvo määritetään kerran kuukaudessa, mutta tähän tutkimukseen lämpöarvon määrittäminen tilattiin molempiin tutkimushake-eriin. Näin voitiin kohdistaa lämpöarvo tutkittuun hakkeeseen. Saapumistilassa olevaa hakenäytettä kuivattiin lämpökaapissa vuorokausi  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa ja jauhettiin koneellisesti (Kuvat 13 ja 14, s. 19) pienempään, 5 mm palakokoon. Jauhaminen tehtiin logistisista syistä näytteen laboratorioon lähettämistä helpottamaan. Lämpöarvonäytteen kuivatukseen käytettiin Memmert UFE 600 -lämpökaappia (Kuva 15, s. 20). Labtium Oy käyttää puupolttoaineen lämpöarvon määrittämiseen kahta erilaista laitteistoa, jotka täyttävät lämpöarvon määrittämiselle asetetun standardin. Tässä tutkimuksessa hake-erien lämpöarvojen määrittäminen tehtiin pommikalorimetrillä IKA 5000.



Kuva 13. Koneellinen jauhin.



Kuva 14. Jauhimen seulasieppi ja terä.





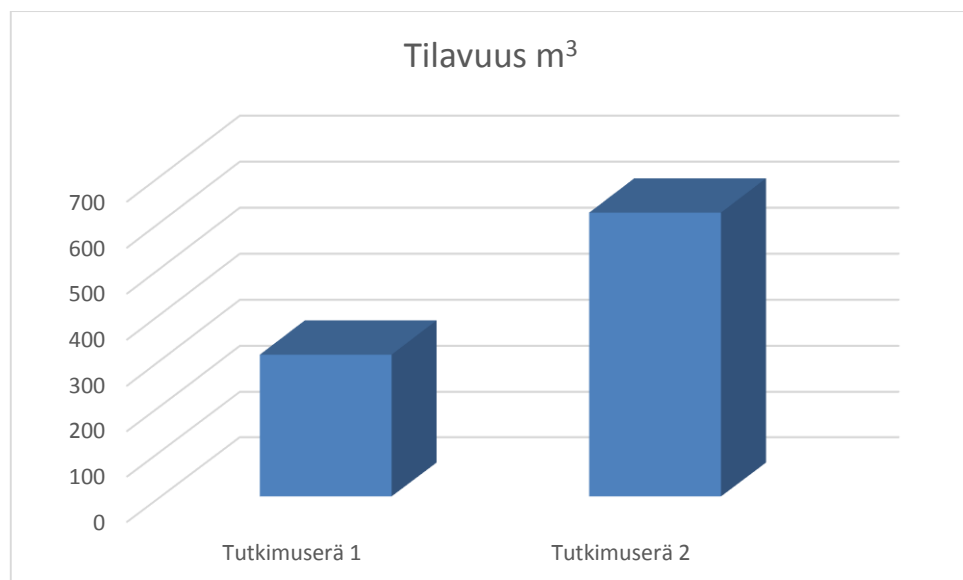
Kuva 15. Lämpöarvonäytteen kuivaukseen käytetty lämpökaappi.

## 7 MITTAUSTULOKSET

Tutkimuksen mittauksista saadut tulokset koottiin ja osa tuloksista käsiteltiin Excel-ohjelmalla. Myöhemmin tuloksia käytettiin tutkimuksessa tehtyihin laskutoimituksiin.

### 7.1 Puun tilavuus

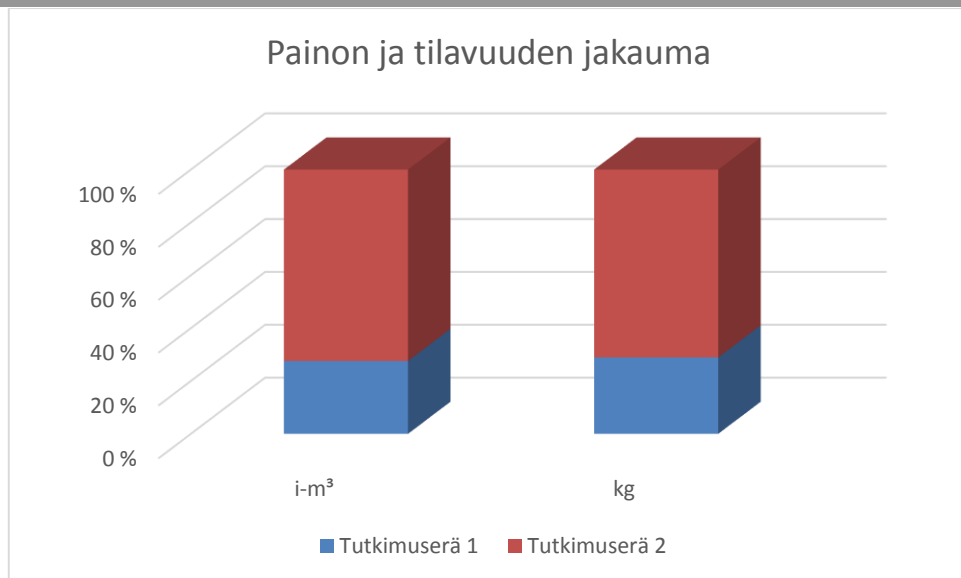
Tutkimuserän 1 kiintotilavuus oli 311,2 m<sup>3</sup>:ä ja tilavuus jakautui alueellisesti siten, että Luhalahden kertymä oli 88,8 m<sup>3</sup>:ä, Haukijärven 95,2 m<sup>3</sup>:ä, Anian 83,12 m<sup>3</sup>:ä ja Hahkalan 44,08 m<sup>3</sup>:ä. Tutkimuserän 2 kiintotilavuudeksi mitattiin 619,69 m<sup>3</sup>:ä. Tutkimuserän 2 pinomittaus tulos kiintokuutiometreinä oli 661,6 m<sup>3</sup>:ä. Pinomittauksessa käytettiin suurinta läpimitan lisäprosenttia, joka on 6, yhtä pinonosaa lukuun ottamatta, jonka järeys jäi alle 23 senttimetrin. Tämän pinonosan läpimitan lisäprosentiksi tuli 5. Pinomittaus osoittautui huonoksi mittausmenetelmäksi näin suurella pinolla. Suuren pinon ollessa kyseessä, voi pienetkin arviointivirheet pinon korkeudessa vaikuttaa suuresti lopputilavuuteen. Kuviossa 2 havainnollistetaan tutkimuserien tilavuuksien eroa kiintokuutiometreinä.



Kuvio 2. Tutkimuserien tilavuudet.

### 7.2 Hakkeen paino ja tilavuus

Tutkimuserän 1 haketilavuudeksi mitattiin 780 i-m<sup>3</sup> ja se painoi 189 680 kilogrammaa. Tutkimuserän 2 haketilavuudeksi mitattiin 2049 i-m<sup>3</sup>:ä ja se painoi 466 480 kilogrammaa. Liitteen 1 taulukoissa on esitetty tilavuuksien ja painojen määrät kuormittain ja osatoimituserittäin. Kuviossa 3 (s. 22) on havainnollistettu hakkeen painon ja tilavuuden jakaumaa tutkimuserien kesken.



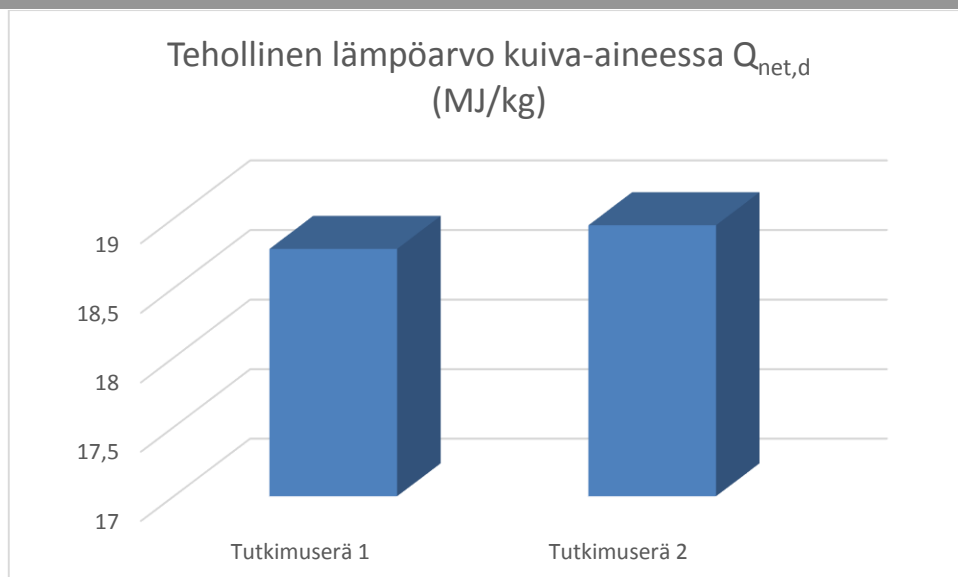
Kuvio 3. Tutkimushakkeen tilavuuden ja painon jakauma tutkimuserissä.

### 7.3 Hakkeen märkä- ja kuivapaino $m_i$

Kosteusprosentin laskentaan täytyi selvittää hakkeen märkä- sekä kuivapaino. Jokaisen osatoimituserän kokoomanäytteestä mitattiin kaksi märkä- sekä kuivapainoa. Lisäksi mitattiin punnituksessa ja uunikuivauksessa käytetty vuoka. Tutkimuserän 1 näytteistä punnittiin kuusi märkä- ja kuivapainotulosta, kun osatoimituseriä ja kokoomanäytteitä oli kolme. Tutkimuserästä 2 punnittiin 12 märkä- ja kuivapainotulosta, kun osatoimituseriä ja kokoomanäytteitä oli seitsemän. Tutkimuserän 2 kolmannelle kokoomanäytteelle puuttuu punnitustiedot, mutta kyseisen osatoimituserän kosteus, tilavuus ja paino tiedetään. Liitteen 2 taulukoissa ovat mitauksissa saadut tulokset.

### 7.4 Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa $Q_{net,d}$

Tutkittavan hakkeen teholliseksi kuiva-aineen lämpöarvoksi tutkimuserälle 1 mitattiin 18,78 MJ/kg ja tutkimuserälle 2 mitattiin 18,95 MJ/kg. Kuviossa 4 (s. 23) havainnollistetaan tehollisen kuiva-aineen lämpöarvon eroa tutkimuserien välillä.



Kuvio 4. Tutkimuserien teholliset lämpöarvot kuiva-aineessa.

## 8 LASKENTA

Mittauksissa saaduista arvoista laskettiin tutkimuspuulle energiatiheys ja energiasisältö, joita myöhemmin verrattiin vastaavaan puupolttoaineeseen ja tutkimukselle asetettuun hypoteesiin. Laskennassa käytetyt kaavat ja laskentamenetelmät ovat peräisin puupolttoaineiden laatuohjeesta (Alakangas & Impola 2013, 23, 24, 50, 53).

### 8.1 Irtotiheys saapumistilassa $BD_{ar}$

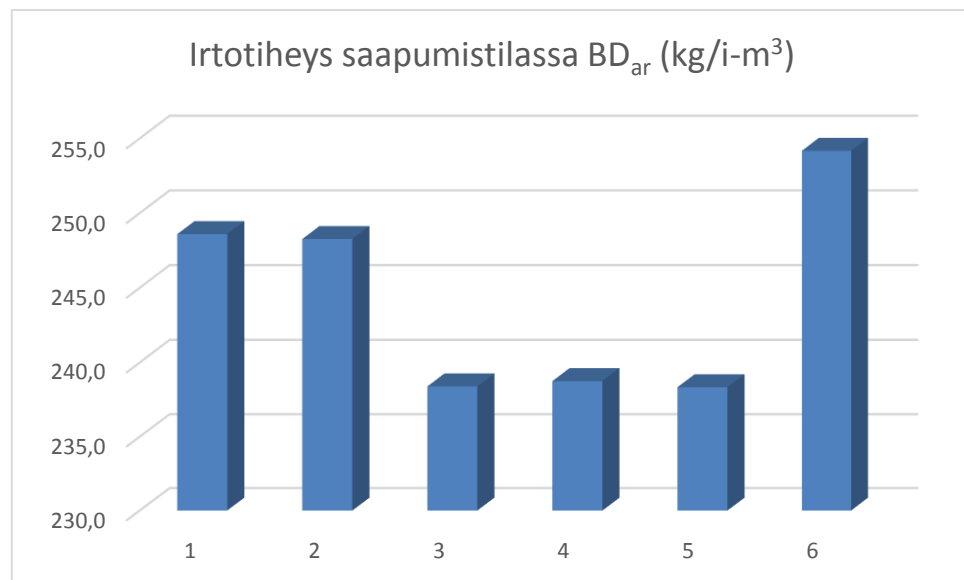
Hakkeen irtotiheys saapumistilassa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) laskettiin hakkeen märkäpainon ja tilavuuden mittaustuloksia. Irtotiheys laskettiin siihen tarkoitettulla laskentakaavalla (Kaava 1). Tulos ilmoitettiin 0,1 kg:n tarkkuudella ja pyöristettiin lähimpään lukuun.

$$BD_{ar} = \frac{m_4}{V} \quad (1)$$

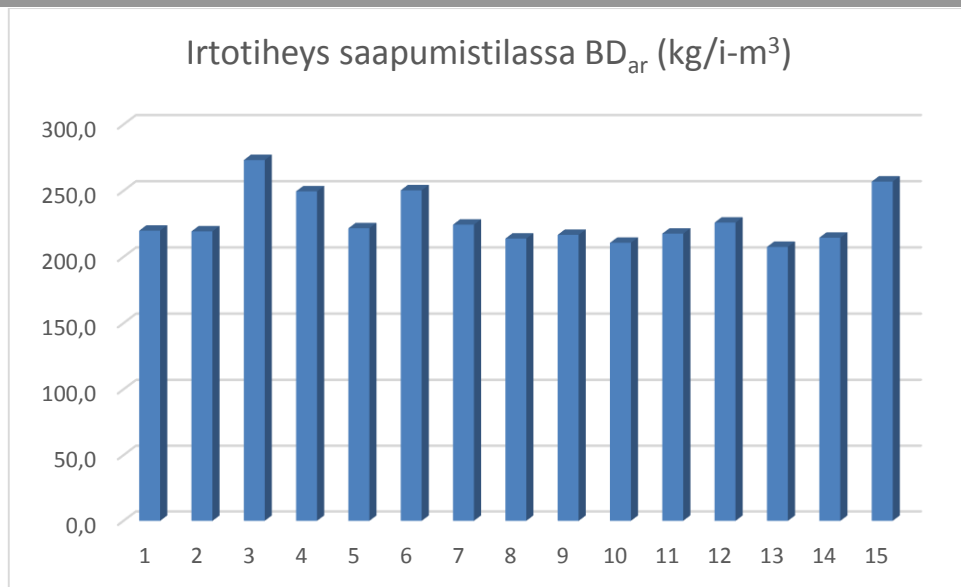
missä

$m_4$  on saapumistilaisen hakkeen paino kilogrammoina  
 $V$  on saapumistilaisen hakkeen tilavuus irtokuutiometreinä

Liitteen 3 taulukoissa on esitetty lasketut irtotiheydet kuormittain ja irtotiheyden keskiarvon osatoimituserittäin molemmille tutkuserille, sekä keskimääräisen irtotiheyden tutkuserittäin. Kuvioissa 5 ja 6 (s. 25) havainnollistetaan tutkuserien irtotiheyksien kuormien keskinäistä jakaumaa.



Kuvio 5. Tutkuserän 1 kuormien irtotiheydet.



Kuvio 6. Tutkimuserän 2 kuormien irtotiheydet.

## 8.2 Kosteus saapumistilassa M<sub>ar</sub>

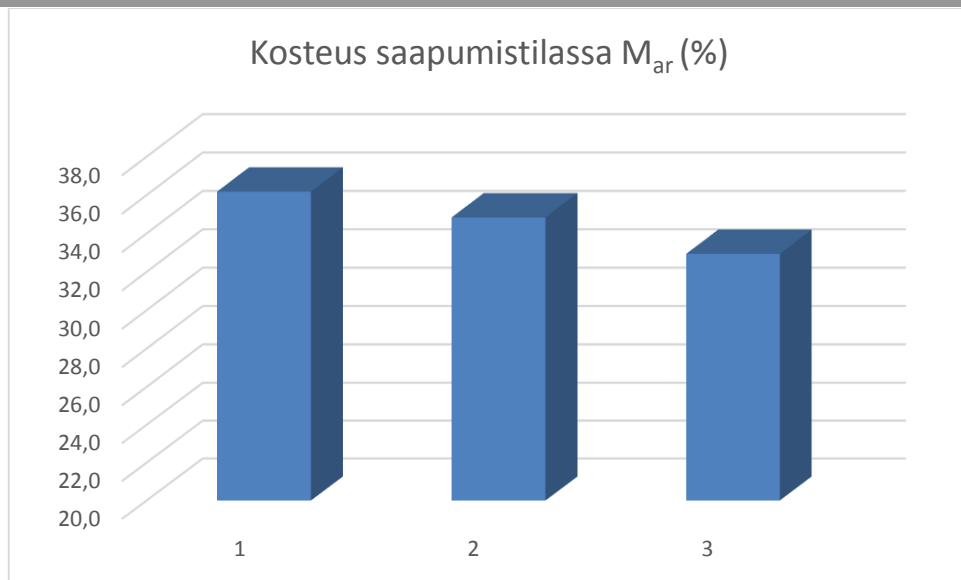
Hakkeen kosteus (%) saapumistilassa laskettiin laskentakaavalla (Kaava 2). Tulos ilmoitettiin 0,1 prosentin tarkkuudella ja pyöristettiin lähimpään lukuun.

$$M_{ar} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} 100 \quad (2)$$

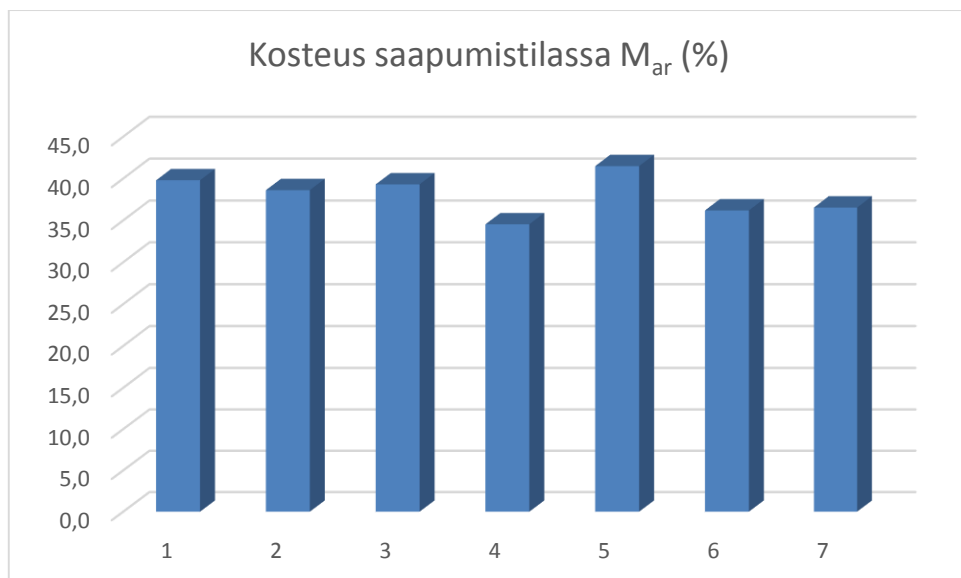
missä

m<sub>1</sub> on hakkeen punnitusastian paino grammoina  
 m<sub>2</sub> on hakkeen märkäpunnituspaino grammoina  
 m<sub>3</sub> on hakkeen kuivapunnituspaino grammoina

Liitteen 4 taulukoissa on esitetty hakkeen kosteuden laskentatulokset kaikkien näytteiden osalta tutkimuserille 1 ja 2, sekä niiden keskiarvot kokoomanäytteittäin. Kuvioissa 7 ja 8 (s. 26) on havainnollistettu tutkimuserien hakkeen kosteus kokoomanäytteittäin.



Kuvio 7. Tutkimuserän 1 kosteus kokoomanäytteittäin.



Kuvio 8. Tutkimuserän 2 kosteus kokoomanäytteittäin.

### 8.3 Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa $Q_{net,ar}$

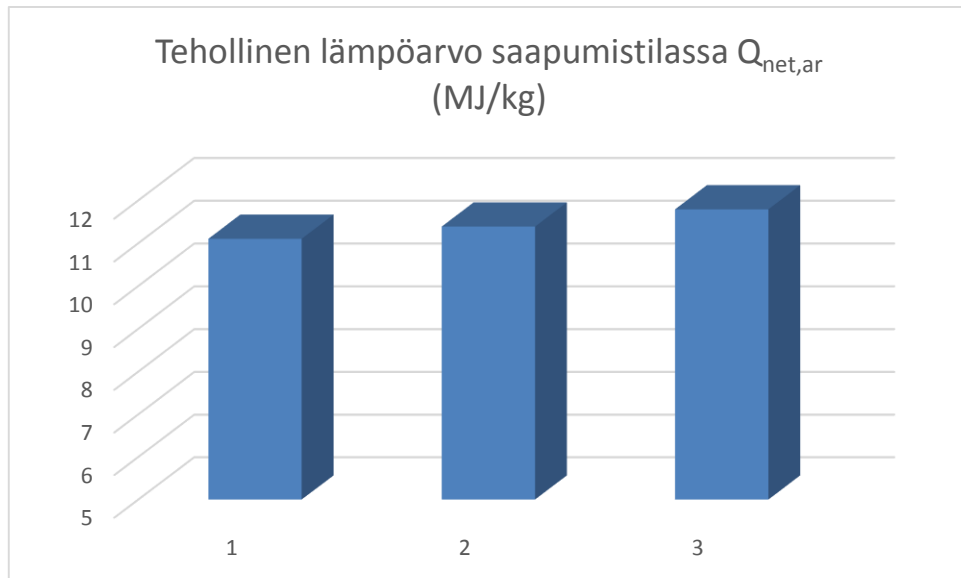
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg) laskettiin saapumistilaisen hakkeen kosteusprosentin ja hakkeen tehollisen lämpöarvon mittaustuloksista laskentakaavalla (Kaava 3). Tulos ilmoitettiin 0,01 MJ/kg tarkkuudella ja se pyöristettiin lähimpään lukuun.

$$Q_{net,ar} = Q_{net,d} \times \left( \frac{100 - M_{ar}}{100} \right) - 0,02443 \times M_{ar} \quad (3)$$

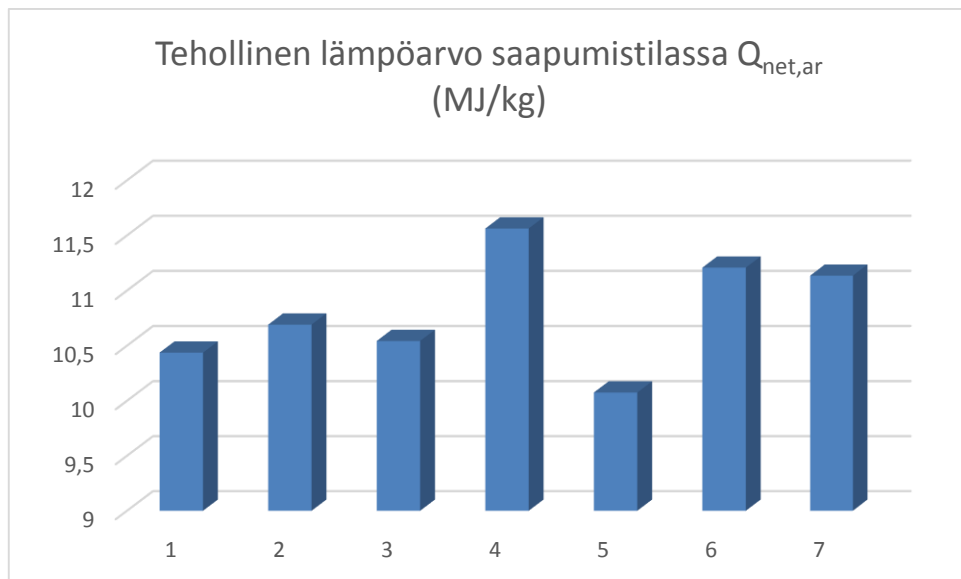
missä

$Q_{net,d}$	on hakkeen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)
$M_{ar}$	on saapumistilaisen hakkeen kosteusprosentti
0,02443	on veden höyrystymiseen kulunut energia (MJ/kg)

Liitteen 5 taulukoissa on esitetty tutkimuserien 1 ja 2 teholliset lämpöarvot saapumistilassa näytteittäin sekä kokoomanäytteittäin. Kuvioissa 9 ja 10 on havainnollistettu teholliset lämpöarvot saapumistilassa kokoomanäytteittäin.



Kuvio 9. Tutkimuserän 1 kokoomanäytteiden saapumistilaiset lämpöarvot.



Kuvio 10. Tutkimuserän 2 kokoomanäytteiden saapumistilaiset lämpöarvot.

#### 8.4 Energiatiheys saapumistilassa $E_{ar}$

Saapumistilainen energiatiheys ( $MWh/irto-m^3$ ) laskettiin saapumistilaisen hakkeen lämpöarvon ja irtotiheyden laskentatuloksista, käyttäen siihen tarkoitettua laskentakaavaa (Kaava 4). Tulos ilmoitettiin  $0,01 MWh/irto-m^3$  tarkkuudella. tulos pyöristettiin lähimpään lukuun.

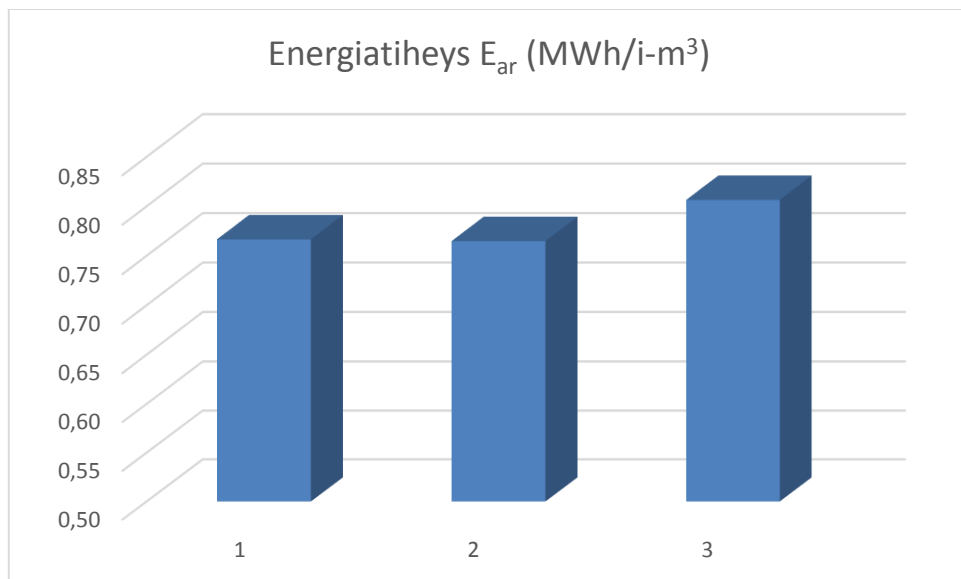
$$E_{ar} = \frac{1}{3600} \times Q_{net,ar} \times BD_{ar} \quad (4)$$



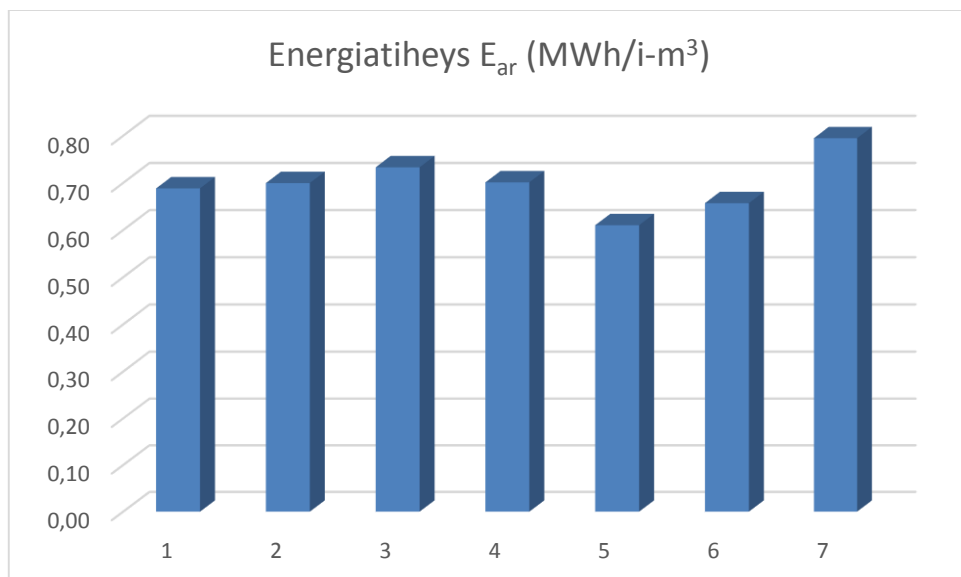
missä

$Q_{\text{net,ar}}$  on saapumistilaisen hakkeen lämpöarvo (MJ/kg)  
 $BD_{\text{ar}}$  on saapumistilaisen hakkeen irtotiheys ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )  
 $1/3600$  on kerroin jolla muutetaan energiayksiköt (MJ:sta MWh:in)

Liitteen 6 taulukoissa on esitetty tutkimuserien 1 ja 2 energiatiheddet kokoomanäytteittäin. Kuvioissa 11 ja 12 on havainnollistettu energiatiheddet kokoomanäytteittäin.



Kuvio 11. Tutkimuserän 1 energiatiheddet kokoomanäytteittäin.



Kuvio 12. Tutkimuserän 2 energiatiheddet kokoomanäytteittäin.

## 8.5 Toimitettu energiamäärä W

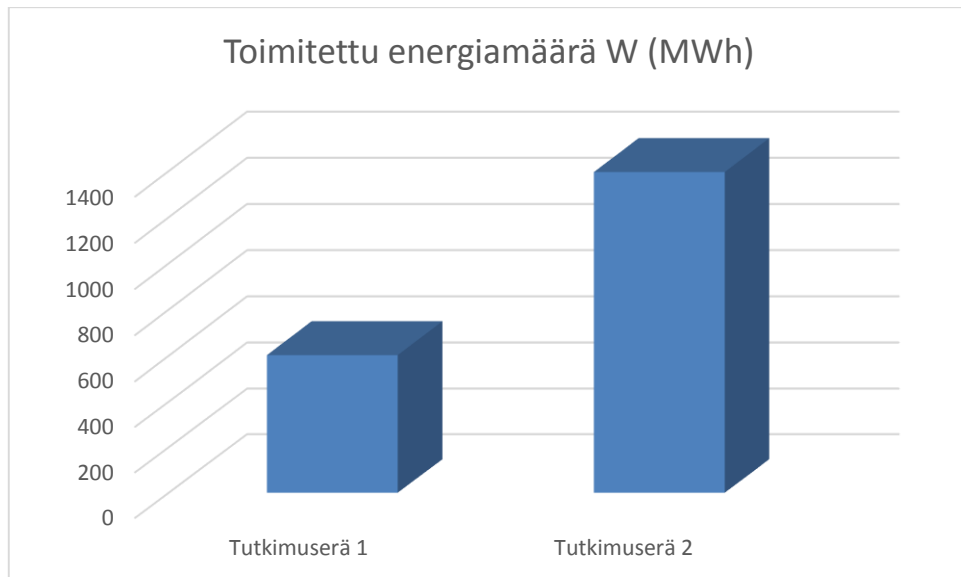
Toimitettu energiamäärä (MWh/kg) laskettiin saapumistilaisen tehollisen lämpöarvon ja hakkeen saapumistilaisen painon laskenta- ja mittaustuloksista laskentakaavalla (Kaava 5).

$$W = \frac{Q_{net,ar}}{3,6} \times m \quad (5)$$

missä

$\frac{Q_{net,ar}}{3,6}$  muunto, jolla MJ/kg muutetaan MWh/t (tonnia)  
 m on saapumistilaisen hakkeen paino tonneina

Liitteen 7 taulukoissa on esitetty toimitettu energiamäärä (MWh) osatoimituserittäin molemmille tutkimuserille sekä toimitettu kokonaisenergiämäärä tutkimuserittäin. Kuviossa 13 on havainnollistettu tutkimuksessa toimitettu kokonaisenergiämäärä tutkimuserittäin.



Kuvio 13. Toimitettu kokonaisenergiämäärä.

## 9 TILASTOLLISET TUNNUSLUVUT JA TESTAAMINEN

Tuloksille tehtiin tilastollisia analyyskejä, joissa selvitettiin laskettujen tulosten tilastollista käyttäytymistä niiden tunnuslukujen perusteella. Näiden tietojen perusteella voitiin valita oikea tilastollinen testausmenetelmä, jolla verrattiin tutkimustulosten ja niihin verrattavien arvojen välistä eroa.

Analyysit ja testit tehtiin JMP-ohjelmalla. Tutkittuun lahovikaiseen kuuseen verrattiin energiapuutuotetta, jonka seassa lahovikaiset kuuset toimitetaan voimalaitokseen ja kuuluu normaalisti samaan tuotteeseen. Tuotteen nimi on rankahake. Rankahakkeen mittaustulokset saatiin voimalaitoksen kuukausittaisista laadunvalvontaraporteista. Vertailuun otettiin tutkimuserien kanssa samoina kuukausina toimitettu rankahake. Täten voitiin päätellä, heikentääkö lahovikainen kuusi polttoainetuotteen energiaominaisuuksia. Tilastollisessa testaamisessa käytetty aineisto on esitelty liitteen 8 taulukoissa. Tunnuslukujen ja hypoteesin muodostamisessa käytetyt laskentakaavat ovat peräisin teoksesta Tilastomatematiikka (Karjalainen 2004, 70, 84, 86, 193, 149).

### 9.1 Tunnusluvut

Tilastolliset tunnusluvut, joita testausmenetelmän valinta edellytti, olivat keskiarvo, keskihajonta ja varianssi. Keskiarvosta voitiin laskea otosten keskihajonta, jonka arvosta taas voitiin laskea varianssi. Tutkittavien otosten varianssien keskinäisen vertailun perusteella voitiin valita oikea testausmenetelmä.

#### 9.1.1 Keskiarvo

Keskiarvo ( $\bar{x}$ ) laskettiin molemmista tutkimuserien otoksista ja molemmista rankahakkeen otoksista. Keskiarvo lasketaan laskentakaavalla (Kaava 6).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (6)$$

missä

$\sum X_i$	on otosten summa
$n$	on otosten lukumäärä

#### 9.1.2 Keskihajonta

Keskihajonta ( $s$ ) laskettiin kaikkien otosten keskiarvoista laskentakaavalla (Kaava 7).

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (7)$$

missä

$x_i$	on otoksen arvo
$\bar{x}$	on otosten keskiarvo
$n$	on otosten lukumäärä

### 9.1.3 Varianssi

Varianssi ( $s^2$ ) on keskihajonnan neliö. Varianssi laskettiin kaikista vertailussa olleista keskihajonnoista.

## 9.2 Testaus

Tilastollisessa testauksessa testattiin tutkittavan hakkeen ja rankahakkeen lämpöarvojen ja tiheyksien keskiarvojen mahdollista tilastollisesti merkitsevää eroa. Tutkimuksessa selvitettiin, onko lahovikaisen kuusen energiasisällöllä eroa muuhun vastaavaan energiapuuhun, jolloin lämpöarvon lisäksi piti testata niiden tiheysominaisuuksien eli irtotiheyden eroa.

Testausmenetelmänä käytettiin kahden otoksen keskiarvojen T-testiä. Testi oli kaksi osainen, jossa ensin testattiin, olivatko testattavien perusjoukkojen varianssit yhtä suuret. Varianssit eivät olleet yhtä suuret, jolloin päädyttiin käyttämään yksisuuntaista T-testiä. Ensimmäiseksi testille asetettiin hypoteesit (kaava 8). Koska testissä testattiin keskiarvojen mahdollista tilastollisesti merkitsevää eroa, asetettiin hypoteesiksi  $H_0$ , että keskiarvot eivät eroa merkitsevästi toisistaan. Hypoteesiksi  $H_1$  asetettiin, että keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi.

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \mu_2 \\ H_1: \mu_1 &> \mu_2 \text{ tai } H_1: \mu_1 < \mu_2 \end{aligned} \quad (8)$$

missä

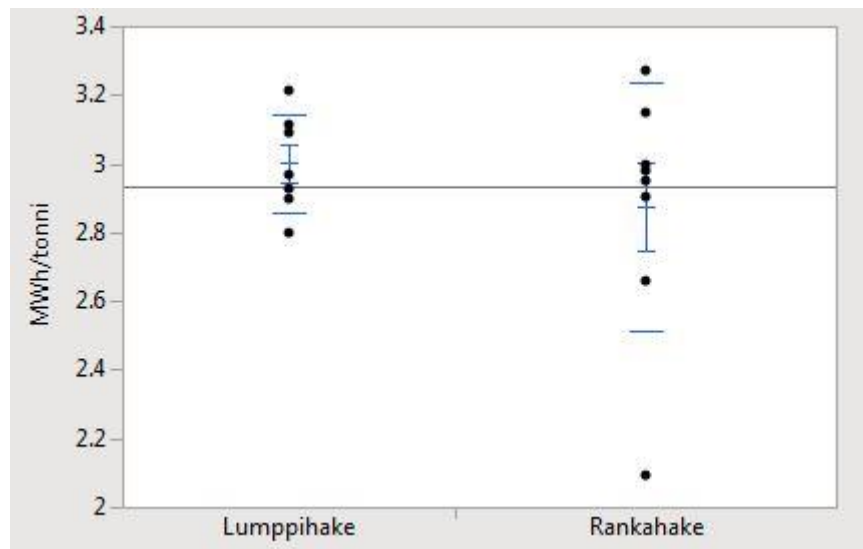
$\mu_1$	on lahovikaisen kuusihakkeen testattava arvo
$\mu_2$	on rankahakkeen testattava arvo

### 9.2.1 Lämpöarvo

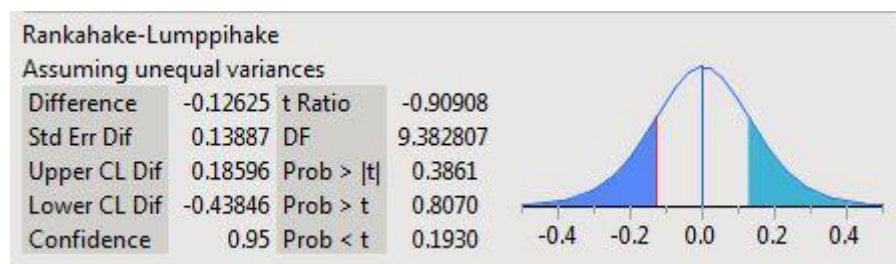
Ensin testattiin tutkitun lahovikaisen kuusihakkeen ja rankahakkeen lämpöarvojen keskiarvon eroa. Testi tehtiin tutkimuserittäin ja molemmille tutkimuserille asetettiin vertailukohteiksi vastaavana kuukautena toimitetun rankahakkeen arvot. Kesäkuun tutkimushakkeella oli kolme otantaa ja rankahakkeella kahdeksan otantaa. Tammikuun tutkimushakkeella oli seitsemän otantaa ja rankahakkeella kahdeksan otantaa. Luotettavuustasoksi testeihin päätettiin 95 prosenttia, jolloin testin merkitsevyystason piti olla alle 0,05, jotta hypoteesi  $H_0$  voitaisiin hylätä ja hypoteesi  $H_1$  hyväksyä.

Kesäkuussa toimitetun tutkimushakkeen ja rankahakkeen välillä ei todettu olevan tilastollisesti merkitsevää eroa. P-arvo, eli merkitsevyystaso oli 0,386, jolloin hypoteesi  $H_0$  hyväksyttiin. Kuvioissa 14 ja 15 (s. 32) on esi-

testetty perusjoukkojen hajonta sekä testissä saadut tilastolliset arvot ja niiden jakauma. Kuvioissa tutkimushake on nimetty lumppihakkeeksi.

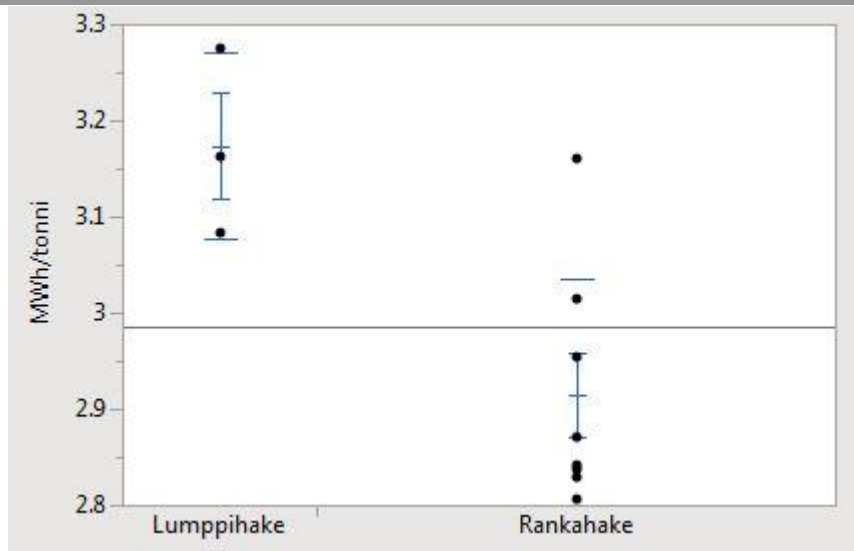


Kuvio 14. Vertailussa tutkimushake-erän 1 ja kesäkuussa toimitetun rankahakkeen hajonta.



Kuvio 15. Tutkimushake-erän 1 ja kesäkuussa toimitetun rankahakkeen vertailun tilastolliset arvot sekä jakauma.

Tammikuussa toimitetun tutkimushakkeen ja rankahakkeen keskiarvoilla havaittiin tilastollista eroa. P-arvo oli 0,016, joten hypoteesi  $H_0$  hylättiin. Koska tulos oli yli 0,01, mutta alle 0,05 sitä voidaan pitää tilastollisesti melkein merkitsevä. Tutkimushakkeen lämpöarvo oli rankahakkeen lämpöarvoa suurempi, jolloin hypoteesi  $H_1: \mu_1 > \mu_2$  hyväksyttiin. Kuvioissa 16 ja 17 (s. 33) on esitetty perusjoukkojen hajonta sekä testissä saadut tilastolliset arvot ja jakauma. Kuvioissa tutkimushake on nimetty lumppihakkeeksi.



Kuvio 16. Vertailussa tutkimushake-erän 2 ja tammikuussa toimitetun rankahakkeen hajonta.

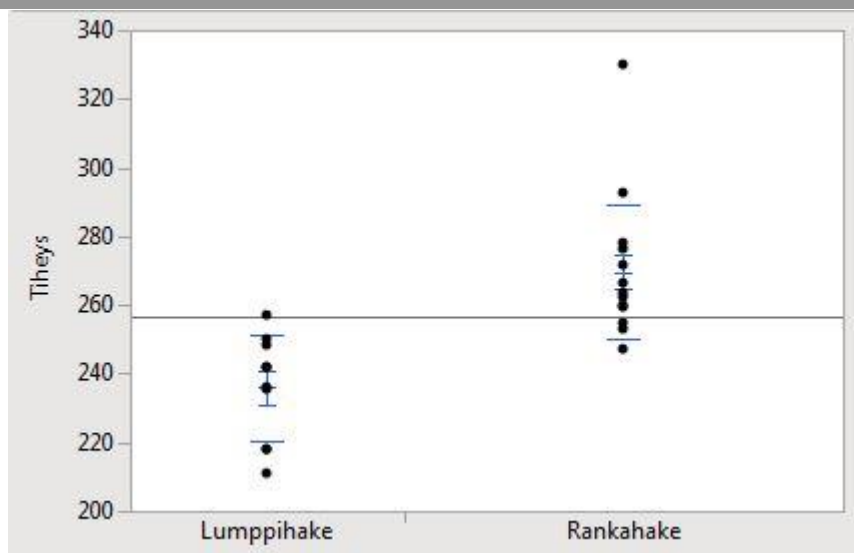


Kuvio 17. Tutkimushake-erän 2 ja tammikuussa toimitetun rankahakkeen vertailun tilastolliset arvot sekä jakauma.

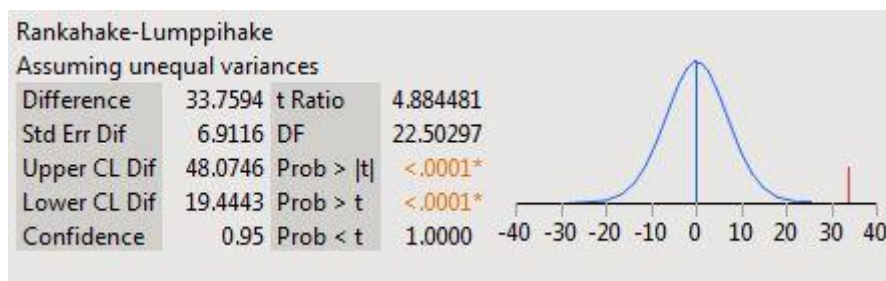
## 9.2.2 Irtotiheys

Irtotiheyden keskiarvojen testissä verrattiin tutkimushakkeen molempia tutkimuseriä rankahakkeen molempiin eriin, joita aiemmin verrattiin lämpöarvon testissä erikseen. Irtotiheyden testissä tutkimushakkeella oli 10 otantaa ja rankahakkeella oli 16 otantaa. Luotettavuustasoksi testtiin päätettiin 95 prosenttia, jolloin p-arvon raja-arvoksi tuli 0,05, hypoteesin hylkäämisen tai hyväksymisen päättämiseen.

Tutkimushakkeen ja Rankahakkeen irtotiheyden testissä p-arvoksi tuli 0,0001, jolloin eroa voidaan pitää tilastollisesti erittäin merkitsevänä. Hypoteesi  $H_0$  hylättiin ja hypoteesi  $H_1: \mu_1 < \mu_2$  hyväksyttiin, koska rankahakkeen irtotiheys oli suurempi. Kuvioissa 18 ja 19 (s. 34) on esitetty perusjoukkojen hajonta sekä testissä saadut tilastolliset arvot ja jakauma. Kuvioissa tutkimushake on nimetty lumppihakkeeksi.



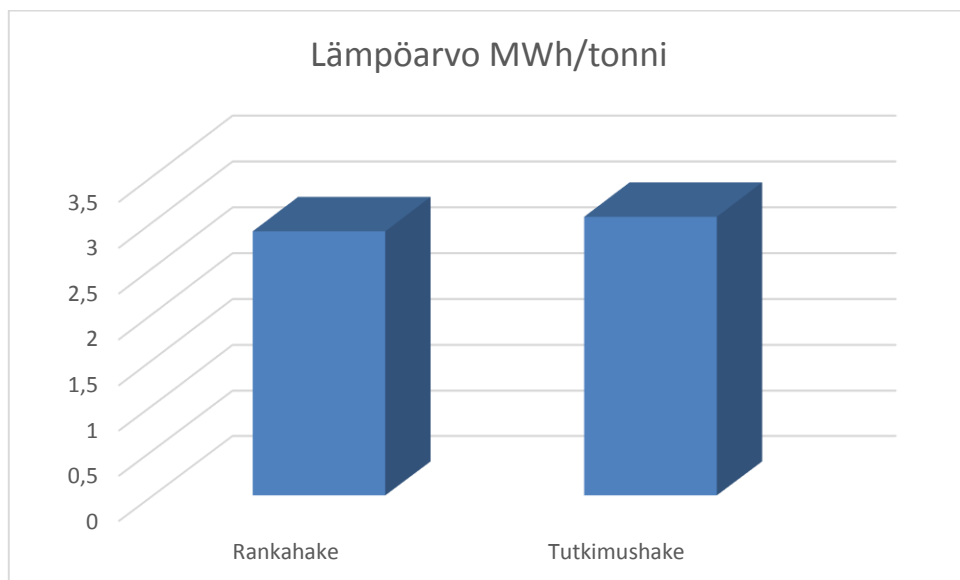
Kuvio 18. Vertailussa tutkimushakkeen ja rankahakkeen irtotiheyksien hajonta.



Kuvio 19. Tutkimushakkeen ja rankahakkeen irtotiheyksien vertailun tilastolliset arvot sekä jakauma.

## 10 TULOKSET

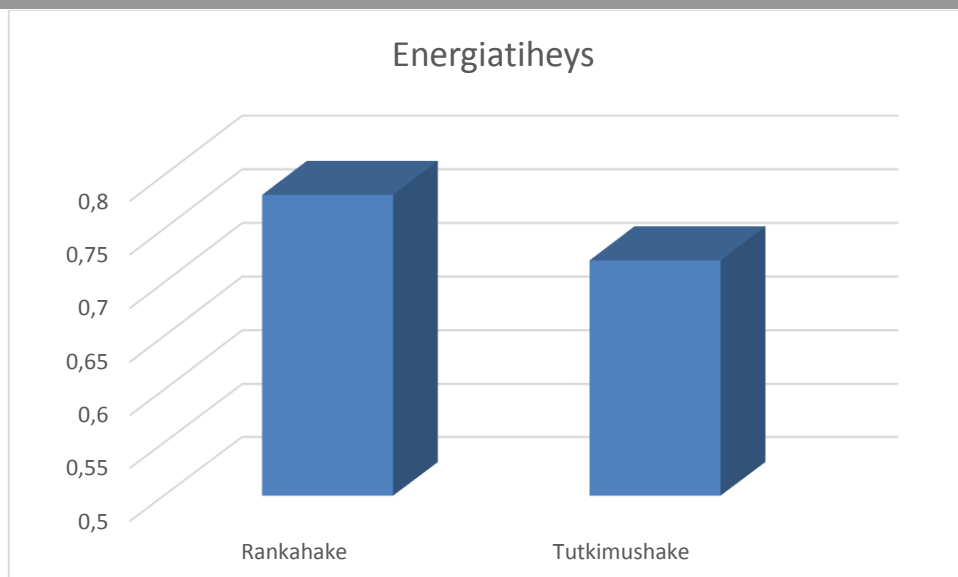
Lämpöarvo oli tutkimuserässä 1, eli kesäkuussa toimitetussa hakkeessa tavallinen eikä poikennut muun vastaavan energiapuun lämpöarvosta. Tutkimuserässä 2, eli tammikuussa toimitetussa hakkeessa taas lämpöarvo oli vähän korkeampi kuin tavallisesti. Pitkällä aikavälillä lämpöarvojen tuloksia tarkasteltaessa voidaan kuitenkin havaita, että suuruusluokassaan sen poikkeavuus on tavallista. Lisäksi tammikuussa toimitetussa rankahakkeessa, johon tutkittua haketta verrattiin, saattoi olla seassa lämpöarvoltaan vähäarvoisempaa puupolttoainetta. Tilastollisesti testattuna lämpöarvon ero oli melkein merkitsevä, josta voidaan päätellä, että ero ei kuitenkaan ole kovin suuri. Voidaan siis todeta, että lämpöarvoa tarkastellen lahovikaisen kuusen ja muun vastaavan energiapuun energiaominaisuudet eivät eroa toisistaan. Lahovikaisen kuusen keskimääräiseksi energiasisällöksi saatiin 3,05 MWh/tonni. Kuvista 20 voi tarkastella lämpöarvojen eroa.



Kuvio 20. Rankahakkeen ja tutkimushakkeen lämpöarvot.

Energiasisältöä tarkasteltaessa otettiin huomioon hakkeen irtotiheys, eli kuinka paljon hake painaa kun sitä on yksi hakekuutiometri. Lahovikaisen kuusihakkeen ja rankahakkeen välisessä irtotiheyden tilastollisessa testissä havaittiin, että niiden ero on erittäin merkitsevä. Lahovikainen kuusihake painoi keskimäärin 236 kilogrammaa hakekuutiometriä kohti, kun rankahake painoi keskimäärin 270 kilogrammaa hakekuutiometriä kohti. Seuraavaksi laskettiin lahovikaisen kuusihakkeen ja rankahakkeen energiatiheys saapumistilassa, eli irtotiheyteen verrattiin hakkeen saapumistilaista lämpöarvoa, jolloin saatiin tulokseksi se energiamäärä mitä hakekuutiometri sisältää sen painoon suhteutettuna. Lahovikaisen kuusen energiatiheys oli keskimäärin 0,72 megawattituntia hakekuutiometriä kohti ja rankahakkeen energiatiheys oli keskimäärin 0,78 megawattituntia hakekuutiometriä kohti. Lahovikaisen kuusihakkeen energiatiheys on tämän tutkimuksen mukaan 7,8 prosenttia alhaisempi kuin rankahakkeen energiatiheys. Kuviossa 21 (s. 36) on havainnollistettu energiatiheysien eroa tutkimushakkeen ja rankahakkeen välillä.





Kuvio 21. Rankahakkeen ja tutkimushakkeen energiatihedysien ero.

## 11 POHDINTA

Tutkimuksen hypoteesina oli, että lahovikaisen kuusen energiasisältö olisi arvoltaan matalampi kuin ulkoisilta ominaisuuksiltaan vastaavan rankahakkeen. Hypoteesi voidaan tilastollisesti testattuna hyväksyä. Lahovikaisen kuusen solukko on kärsinyt lahottajasierien aineenvaihdunnan seurauksena, jolloin se on menettänyt osan massastaan. Tästä on helppo päätellä, että sen sisältämä energiamäärä on hävinnyt samassa suhteessa. Tuloksen suuruus oli kuitenkin jossakin määrin yllättävä.

Tutkimuksessa käytetyn tutkimusaineiston otanta oli verrattain suppea siihen nähden, kuinka paljon lahovikaista kuusta käytetään energiapuuna. Lämpöarvon otanta oli hyvin suppea, ja sen vertailussa rankahakkeen lämpöarvoon tarvitsee olla varovainen. Virheellinen tulkinta on mahdollista, sillä otannan kasvaessa sen keskiarvo todennäköisesti laskisi. Lisäksi on mahdollista, että vertailtu rankahake sisälsi lämpöarvoltaan sellaista polttoainetuotetta, jolla tunnetusti on heikompi lämpöarvo. Rankahakkeen mittaustulokset saatiin laadunvalvontaraporteista, jolloin sen logistiikkaa ei ohjattu samaan tapaan kuin tutkitun lahovikaisen kuusihakkeen logistiikkaa.

Tutkimuksessa saatiin selvä tulos ja sitä voidaan pitää suuntaa antavana, mutta otannan suuruutta ja tiheystekijöiden mittauksen tarkkuutta lisäämällä olisi saatu tarkempia tuloksia ja niiden perusteella tehdyt päätökset olisivat tätä perustellumpia. Toisaalta tutkimuksessa olisi voitu käyttää verrattavana aineistona puhtaasti lahosta vapaata puuta, kun nyt sitä verrattiin polttoainetuotteeseen, jossa on lahovikaista puuta mukana. Näin olisi saatu selkeämpi käsitys lahovikaisen ja lahosta vapaan puun energiaominaisuuksien erosta.

Lahon määrä puissa vaihtelee puiden ja leimikoiden välillä. Hakkuulla lahovian vuoksi kolmen metrin mittaiseksi katkaistu kuusen tyvi voi olla lahovikainen vain hyvin pieneltä matkalta ja loppuosa puusta täysin lahosta vapaata, jolloin voi herätä kysymys siitä, kuinka paljon lahon osuus oikeasti on. Tutkimuksessa oli kuitenkin tarkoitus selvittää lahovikaisen kuusen energiaominaisuus polttoainetuotteena, jota hakkuilta kertyy. Tämän tiedon perusteella voidaan määrittää tarkemmin sen kantohinta. Tutkimuksessa käytetty aineisto edusti laadultaan mielestäni hyvin sitä keskimääräistä lahovikaista puutavaraa, jota energiapuuksi käytetään.

Jatkotutkimukseksi ehdotan tutkimusta, jossa lahovikaisen kuusen tutkittavaa määrää ja lämpöarvon otantaa kasvatetaan tähän tutkimukseen nähden ja hakkeen tiheystekijöiden mittausmenetelmä muutetaan tarkemmaksi. Lämpöarvon otantaa kasvattamalla saataisiin luotettavampi tulos sen todellisesta arvosta. Tarkempi mittausmenetelmä antaisi luotettavamman arvon tiheydelle, joka on yksi keskeisimpiä muuttujia energiaominaisuuksien tarkastelussa. Verrattava tutkimusaineisto olisi lahosta vapaata energiapuuta, jonka otanta tapahtuisi samaan tapaan kuin tutkitavan lahovikaisen energiapuun. Tutkimus voitaisiin tehdä eri alueille, jolloin mahdolliset alueelliset erot voitaisiin havaita.

## LÄHTEET

- Alakangas, E. & Impola, R. 2013. Puupolttoaineiden laatuohje VTT-M-07608-13. Viitattu 10.11.2015  
[www.metsateollisuus.fi/mediabank/918.pdf](http://www.metsateollisuus.fi/mediabank/918.pdf).
- Alakangas, E., 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä 4.12.1992/1257.
- Bioenergianeuvoja.fi, 2015. Puun kosteus. Viitattu 17.12.2015.  
<http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/puun-kosteus>.
- Hakkila, P., 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Karjalainen, L., 2004. Tilastomatemiikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kasanen, R. 2009. Metsäpuiden sienitaudit. Metsäkustannus Oy.
- Kauppila, R., metsäenergia-asiantuntija, Metsänhoitoyhdistys Pirkanmaa. 2015. Puhelinhaastattelu 11.10.2015.
- Lindblad, J. 2008. Tapion taskukirja. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2015. Puun energiakäyttö. Viitattu 17.12.2015. <http://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/puun-energiakaytto>.
- Metsäteho Oy. 2003. Kuitupuun pinomittaus. Viitattu 17.12.2015  
[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Kuitupuun\\_pinomittaus\\_ohje\\_uusi.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Kuitupuun_pinomittaus_ohje_uusi.pdf).
- Mäkelä, M., Korhonen, K. & Lipponen, K. 1999. Tunne puuraaka-aineen lahoviat. Helsinki: Tuokinprint Oy.
- Niinikoski, V., 2007. Pommikalorimetrin IKA C 200 validointi ja käyttö lämpöarvon määrittämisessä. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- Työ- ja elinkeinoministeriö, Energiaosasto. 2013. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013.

HAKKEEN PAINO JA TILAVUUS

Liite 1

Tutkimuserä 1

Osatoimituserä/kokoomanäyte	Kuorma	i-m <sup>3</sup>	kg
1	1	142	35 300
2	1	150	37 240
	2	150	35 760
	3	145	34 620
3	1	145	34 560
	2	48	12 200
yht:	6	780	189 680

Tutkimuserä 2

Osatoimituserä/kokoomanäyte	Kuorma	i-m <sup>3</sup>	kg
1	1	150	32 980
	2	140	30 700
	3	132	36 060
2	1	132	32 940
	2	132	29 260
3	1	132	33 040
4	1	132	29 620
	2	150	32 080
	3	132	28 600
5	1	150	31 600
	2	132	28 720
	3	135	30 500
6	1	135	28 020
	2	135	28 960
7	1	130	33 400
yht:	15	2049	466 480

HAKKEEN MÄRKÄ- JA KUIVAPAINO

Liite 2

Tutkimuserä 1

Kokoomanäyte	Näyte	Vuoka (g)	Märkä (g)	Kuiva (g)
1	1	287,1	559,3	457,9
	2	293,5	558,4	465,4
2	3	271,4	523,8	434,1
	4	275,2	487,9	415,3
3	5	218,8	468,6	385,2
	6	217,9	458,3	380,2

Tutkimuserä 2

Kokoomanäyte	Näyte	Vuoka (g)	Märkä (g)	Kuiva (g)
1	1	219,5	493,6	386,7
	2	219,4	480,8	374,7
2	3	218,4	516,9	403,3
	4	218,6	537,3	412,5
3	xxx	xxx	xxx	xxx
4	5	217,4	392,1	333
	6	218,9	406,5	340,4
5	7	218,5	377,2	311,9
	8	217,8	416	333,1
6	9	293,4	520,1	441,7
	10	298,3	549,9	454,8
7	11	287,7	509	424,9
	12	289,5	515,4	436,2

## Tutkimuserä 1

Osatoimitus- erä/kokoomanäyte	Kuorma	i-m <sup>3</sup>	kg	BDar	BDar (ka)
1	1	142	35 300	248,6	248,6
2	1	150	37 240	248,3	241,8
	2	150	35 760	238,4	
	3	145	34 620	238,8	
3	1	145	34 560	238,3	246,3
	2	48	12 200	254,2	
yht:	6	780	189 680	243,2	

## Tutkimuserä 2

Osatoimitus- erä/kokoomanäyte	Kuorma	i-m <sup>3</sup>	kg	BDar	BDar (ka)
1	1	150	32 980	219,9	237,4
	2	140	30 700	219,3	
	3	132	36 060	273,2	
2	1	132	32 940	249,5	235,6
	2	132	29 260	221,7	
3	1	132	33 040	250,3	250,3
4	1	132	29 620	224,4	218,3
	2	150	32 080	213,9	
	3	132	28 600	216,7	
5	1	150	31 600	210,7	218,1
	2	132	28 720	217,6	
	3	135	30 500	225,9	
6	1	135	28 020	207,6	211,0
	2	135	28 960	214,5	
7	1	130	33 400	256,9	256,9
yht:	15	2049	466 480	227,7	

## Tutkimuserä 1

Kokoomanäyte	Näyte	Vuoka (g)	Märkä (g)	Kuiva (g)	Kosteus	Kosteus ka
1	1	287,1	559,3	457,9	37,3	36,2
	2	293,5	558,4	465,4	35,1	
2	3	271,4	523,8	434,1	35,5	34,8
	4	275,2	487,9	415,3	34,1	
3	5	218,8	468,6	385,2	33,4	32,9
	6	217,9	458,3	380,2	32,5	

## Tutkimuserä 2

Kokoomanäyte	Näyte	Vuoka (g)	Märkä (g)	Kuiva (g)	Kosteus	Kosteus ka
1	1	219,5	493,6	386,7	39,0	39,8
	2	219,4	480,8	374,7	40,6	
2	3	218,4	516,9	403,3	38,1	38,6
	4	218,6	537,3	412,5	39,2	
3	xxx	xxx	xxx	xxx	39,3	39,3
4	5	217,4	392,1	333	33,8	34,5
	6	218,9	406,5	340,4	35,2	
5	7	218,5	377,2	311,9	41,1	41,5
	8	217,8	416	333,1	41,8	
6	9	293,4	520,1	441,7	34,6	36,2
	10	298,3	549,9	454,8	37,8	
7	11	287,7	509	424,9	38,0	36,5
	12	289,5	515,4	436,2	35,1	

## Tutkimuserä 1

Kokoomanäyte	Näyte	Kosteus	Qnet,d	Qnet,ar	Kosteus ka	Qnet,ar
1	1	37,25	18,78	10,87	36,18	11,10
	2	35,11	18,78	11,33		
2	3	35,54	18,78	11,24	34,84	11,39
	4	34,13	18,78	11,54		
3	5	33,39	18,78	11,69	32,94	11,79
	6	32,49	18,78	11,89		

## Tutkimuserä 2

Kokoomanäyte	Näyte	Kosteus	Qnet,d	Qnet,ar	Kosteus ka	Qnet,ar
1	1	39,00	18,95	10,61	39,79	10,44
	2	40,59	18,95	10,27		
2	3	38,06	18,95	10,81	38,61	10,69
	4	39,16	18,95	10,57		
3	xxx	39,30	18,95	10,54	39,30	10,54
4	5	33,83	18,95	11,71	34,53	11,56
	6	35,23	18,95	11,41		
5	7	41,15	18,95	10,15	41,49	10,07
	8	41,83	18,95	10,00		
6	9	34,58	18,95	11,55	36,19	11,21
	10	37,80	18,95	10,86		
7	11	38,00	18,95	10,82	36,53	11,13
	12	35,06	18,95	11,45		



## Tutkimuserä 1

Kokoomanäyte	BDar	Qnet,ar	Ear
1	248,59	11,10	0,77
2	241,81	11,39	0,76
3	246,26	11,79	0,81

## Tutkimuserä 2

Kokoomanäyte	BDar	Qnet,ar	Ear
1	237,44	10,44	0,69
2	235,61	10,69	0,70
3	250,30	10,54	0,73
4	218,31	11,56	0,70
5	218,06	10,07	0,61
6	211,04	11,21	0,66
7	256,92	11,13	0,79

## Tutkimuserä 1

Osatoimituserä/kokoomanäyte	Paino (t)/kuorma	Paino (t)/osatoimituserä	Qnet,ar (MJ/kg)	MWh
1	35,3	35,3	11,10	108,86
2	37,24	107,62	11,39	340,40
	35,76			
	34,62			
3	34,56	46,76	11,79	153,14
	12,2			
yht:	189,68			602,40

## Tutkimuserä 2

Osatoimituserä/kokoomanäyte	Paino (t)/kuorma	Paino (t)/osatoimituserä	Qnet,ar (MJ/kg)	MWh
1	32,98	99,74	10,44	289,15
	30,7			
	36,06			
2	32,94	62,2	10,69	184,71
	29,26			
3	33,04	33,04	10,54	96,76
4	29,62	90,3	11,56	290,03
	32,08			
	28,6			
5	31,6	90,82	10,07	254,16
	28,72			
	30,5			
6	28,02	56,98	11,21	177,39
	28,96			
7	33,4	33,4	11,13	103,31
yht:	466,48			1395,51

## Tammikuu

Rankahake				Tutkimushake			
Qnet,ar	Kuutiot (i-m <sup>3</sup> )	Paino (t)	Irtotiheys	Qnet,ar	Kuutiot (i-m <sup>3</sup> )	Paino (t)	Irtotiheys
2,66	725	212,32	292,85517	10,436709	422	99,74	236,35071
2,99	1885	480,48	254,89655	10,690587	264	62,2	235,60606
3,15	2040	516,52	253,19608	10,542551	132	33,04	250,30303
3,27	439	108,48	247,10706	11,562573	414	90,3	218,11594
2,1	400	132,1	330,25	10,074766	417	90,82	217,79376
2,9	2128	553,18	259,95301	11,20774	270	56,98	211,03704
2,98	3493	907,06	259,67936	11,134873	130	33,4	256,92308
2,95	439	115,3	262,64237				

## Kesäkuu

Rankahake				Tutkimushake			
Qnet,ar	Kuutiot (i-m <sup>3</sup> )	Paino (t)	Irtotiheys	Qnet,ar	Kuutiot (i-m <sup>3</sup> )	Paino (t)	Irtotiheys
3,16	145	40,32	278,06897	11,10156	142	35,3	248,59155
2,95	150	40,72	271,46667	11,386819	445	107,62	241,8427
2,83	285	75,1	263,50877	11,789756	193	46,76	242,27979
2,87	290	78,76	271,58621				
2,81	140	36,32	259,42857				
2,84	552	147,18	266,63043				
3,01	567	151,18	266,63139				
2,84	150	41,46	276,4				